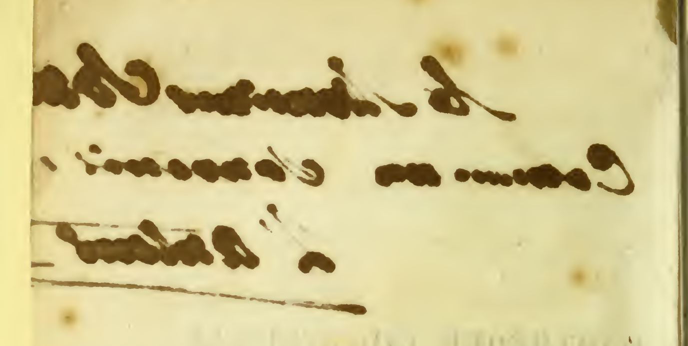


A Monsieur Ch…
Comme un souvenir
L'Auteur

BIBLIOTHÈQUE INDUSTRIELLE.

SCIENCES.

IMPRIMERIE D'AUGUSTE BARTHELEMY,
RUE DES GRANDS-AUGUSTINS, N° 10.



BRUXELLES.

CHEZ BERTHOD, LIBRAIRE,

MARCHÉ AU BOIS N° 1407.

EXTRAIT DU CATALOGUE

DE LA

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE INDUSTRIELLE.

BIBLIOTHÈQUE INDUSTRIELLE,

Ou Traités séparés des Sciences et des Arts et Métiers.

EN VENTE :

ART DU GEOMÈTRE ARPENTEUR, ou Traité de géométrie pratique, par M. Guy, ancien élève de l'école polytechnique. 1 vol. in-12 avec planches et gravures. 4 fr. 50 c.

MÉTALLURGIE PRATIQUE, par MM. D. et H. 1 vol. in-12 avec planches gravées. 4 fr. 50 c.

ART DU MAITRE DE FORGES, ou Traité théorique et pratique de l'exploitation du fer, et de ses applications aux différents agents de la mécanique et des arts, suivi d'un vocabulaire, par M. Pelouze, employé dans les forges de Charenton. 2 vol. in-12. 9 fr.

— Atlas avec l'explication des planches. 1 fr.

ART DU CHARPENTIER, par Lepage. 1 vol. in-12 avec planches. 3 fr. 75 c.

ART DU TEINTURIER, suivi de l'Art du Dégraisseur, par M. Bergues. 1 vol. in-12. 3 fr. 75 c.

ART DE FABRIQUER LA PORCELAINE, suivi d'un vocabulaire des mots techniques et d'un Traité de la peinture et dorure sur porcelaine, par F. Bastenaire d'Audenert. 2 vol. in-12 avec planches. 9 fr.

GUIDE MANUEL DE L'ÉPICIER DROGUISTE, par M. Isabeau. 1 vol. in-12. 4 fr.

BOTANIQUE DU DROGUISTE ET DU NÉGOCIANT en substances exotiques, traduit de l'anglais de Thomson. 1 vol. in-12. 4 fr. 50 c.

ART DE FABRIQUER toutes les espèces de faïences à pâte poreuse, recouvertes d'un émail opaque blanc ou coloré, suivi d'un vocabulaire des mots techniques, et d'un Traité sur la peinture à réverbère. 1 vol. in-12 avec planches. 4 fr. 50 c.

HISTOIRE DESCRIPTIVE DES MACHINES A VAPEUR, traduite de l'anglais de STUART. 1 vol. in-12 avec planches. 4 fr. 50 c.

PERSPECTIVE PRATIQUE, par M. ISABEAU. 1 vol. in-12 avec planches. 3 fr. 25 c.

GUIDE DU VÉTÉRINAIRE ET DU MARECHAL FERRANT, dans la ferrure des chevaux et le traitement des pieds malades, traduit de l'anglais de J. GOODWIN, enrichi de notes par M. BERGER, artiste vétérinaire de la maison du roi. 1 vol. in-12 avec planches. 4 fr. 50 c.

ART DU JARDINIER dans la culture des arbres fruitiers et des plantes potagères, par M. A. MÉRAULT. 1 vol. in-12. 4 fr. 50 c.

CALCULS FAITS A L'USAGE DES INDUSTRIELS, en général, et spécialement des mécaniciens, charpentiers, serruriers, pompiers, chaudronniers, etc., par M. LENOIR. 1 vol. in-12. 4 fr. 50 c.

TRAITE DES FALSIFICATIONS, par M. DESMAREST, ancien élève de l'école polytechnique. 1 vol. in-12. 4 fr. 50c.

CHIMIE. Traité abrégé de cette science et de ses applications aux arts, par M. DESMAREST, ancien élève de l'école polytechnique. 1 vol. in-12 avec planches. 3 fr. 75 c.

ART DE L'EBENISTE, par M. A. LEPAGE. 1 vol. in-12 avec planches. 4 fr. 50 c.

ASTRONOMIE ELEMENTAIRE, par M. QUÉTELET. 1 vol. in-12 avec planches. 4 fr. 25 c.

MINERALOGIE USUELLE, par M. DRAPIEZ, professeur à Bruxelles. 1 vol. in-12. 4 fr. 50 c.

LIVRES DE FONDS ET D'ASSORTIMENT.

ÉLEMENTS DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE, à l'usage des candidats aux écoles polytechnique, militaire de Saint-Cyr et de la marine, par M. DUCHESNE, professeur de mathématiques au collége royal de Vendome. 1 vol. in-12, avec un cahier d'épures. 4 fr. 50 c.; par la poste, 5 fr. 50 c.

COURS DE CHIMIE ET DE PHYSIQUE, par E. Péclet, ex-professeur des sciences physiques au collége de Marseille. Treize livraisons in-4° de 13 feuilles, avec 39 pl. La livraison. 5 fr.

TRAITÉ DE L'ÉCLAIRAGE, par le même. 1 vol. in-8°, orné de 10 pl. 8 fr. 50 c.

TRAITÉ DE TYPOGRAPHIE, par Fournier, imprimeur. 1 vol. in-8°. 7 fr.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE des machines employées en France et en Angleterre pour filer et tisser le coton, précédée de l'histoire de la fabrication du coton, par M. Maiseau. 1 vol. in-8° avec atlas.

MÉMOIRES SUR LES ROUES HYDRAULIQUES à aubes courbes mues par-dessous, suivis d'expériences sur les effets mécaniques de ces roues; par M. Poncelet, capitaine au corps royal du génie, professeur de mécanique appliquée à l'école spéciale de Metz, etc., etc. 1 vol. in-4° avec pl. 7 fr.

GÉOMÉTRIE APPLIQUÉE A L'INDUSTRIE, par C. L. Bergery, ancien élève de l'Ecole Polytechnique, professeur de sciences appliquées à l'école royale d'artillerie de Metz. 1 vol. in-8° avec pl. 5 fr.

GEOMÉTRIE DES COURBES appliquée à l'industrie, par C. L. Bergery. 1 vol. in-8°. 4 fr.

ARITHMÉTIQUE appliquée aux spéculations commerciales et industrielles, par M. Voisard, ancien élève de l'Ecole Polytechnique, membre de la Société académique de Metz; rédigé et publié par N. Berton, professeur de mathématiques à Metz. 1 vol. in-8°. 2 fr. 50 c.

ENCYCLOPÉDIE PORTATIVE. — Astronomie. — Physique. — Chimie. — Botanique. — Histoire. — Economie politique. — Chaque vol. in-32, sur beau papier. 3 fr. 50 c.

MANUEL DU FERMIER, par M. Delpierre, propriétaire à Châteauroux. 1 vol. in-18 avec pl. 3 fr. 50 c.

MANUEL DE MORALE, par le même. 1 vol. in-18. 3 fr. 50 c.

LE MÉCANICIEN ANGLAIS, traduit de l'anglais de Nicolson; revu et corrigé par M. Pierrugues, ingénieur français. 4 vol. in-8°, ornés de 100 pl. 4 fr.

SOUS PRESSE :

COURS D'ÉLOQUENCE à l'usage des jeunes avocats et des personnes qui se destinent à la tribune nationale, par M. Durand, ancien procureur du roi. 2 vol. in-8° 15 fr.

MANUEL DU CRÉANCIER HYPOTHÉCAIRE, par M. Zanolle. 1 vol. in-18. 3 fr. 50 c.

HISTOIRE DES GAULES avant Clovis, par M. Amédée Thierry. 3 vol. in-8°.

Cet ouvrage est divisé en trois parties, la première renferme l'origine de la nation gauloise, ses courses et ses conquêtes. La seconde contient l'histoire des peuples de cette race établis en Gaule, aux Iles Britanniques, etc., leur religion, leurs guerres intérieures, leurs mœurs, etc. Enfin, dans la troisième, l'auteur expose les changements introduits par la conquête romaine dans la civilisation gauloise.

SOUSCRIPTION.

Corps du Droit Français,

OU

RECUEIL COMPLET

DES

LOIS, DÉCRETS, ORDONNANCES, ARRÊTÉS, SÉNATUS-CONSULTES, RÈGLEMENS, AVIS DU CONSEIL-D'ETAT,

Publiés depuis 1789 jusqu'à 1825 inclusivement.

DEUX VOL. IN-8°,

En 70 Livraisons de quatre feuilles (64 pages) chaque,

(PRIX DE LA LIVRAISON ; 2 FR. 25 CENT.)

Mis en ordre et annoté par C.-M. Galisset,
Avocat à la Cour royale de Paris.

(Trente Livraisons ont paru.)

ASTRONOMIE

ÉLÉMENTAIRE.

PAR A. QUÉTELET,

MEMBRE DE L'ACADÉMIE DE BRUXELLES.



PARIS,

A LA LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE ET INDUSTRIELLE

DE MALHER ET Cie,

PASSAGE DAUPHINE.

1826.

Pour se conformer à l'usage encore généralement établi, on a employé dans le cours de cet ouvrage, l'ancienne division sexagésimale de la circonférence.

AVANT-PROPOS.

Cet Ouvrage est le résumé des leçons publiques que je donne annuellement au musée de Bruxelles; il est plus particulièrement destiné aux personnes qui, peu familiarisées avec le langage mathématique, désirent néanmoins acquérir

des notions sur le système du monde et sur la nature des forces qui le régissent. Je n'ai point eu la prétention de faire un traité complet, encore moins celle de tout expliquer sans calcul; les personnes au fait de la science, sauraient apprécier combien cette prétention serait peu fondée. J'ose espérer cependant que les deux premiers livres renferment des notions suffisantes pour bien se représenter l'état du ciel, et pour se faire une idée juste de notre système planétaire. Dans le troisième livre, qui exige un peu plus d'attention de la part du lecteur, j'ai tâché, en exposant les principaux résultats des travaux des géomètres, de faire sentir jusqu'où peut s'élever le génie de l'homme, en sondant les

lois de la création par une observation assidue et par une connaissance approfondie des mathématiques. Les savans n'ignorent pas combien il est difficile de mettre à la portée des gens du monde les résultats d'une science essentiellement fondée sur le calcul; aussi j'ose compter sur leur indulgence, trop heureux si cet essai peut être de quelque utilité aux personnes, qui, occupées d'autres études, voudraient s'initier aux secrets de l'astronomie, et acquérir des notions suffisantes pour lire les ouvrages d'un ordre plus élevé.

ASTRONOMIE.

LIVRE PREMIER.

DU CIEL ÉTOILÉ.

CHAPITRE PREMIER.

Notions préliminaires.

Le spectacle imposant de la voûte étoilée, pendant le silence des nuits, a fait naître, dit-on, chez de simples bergers, les premières connaissances astronomiques. Il suffit, en effet, d'observer attentivement le Ciel pendant quelque temps pour acquérir plusieurs notions importantes sur les astres : on les voit d'abord paraître vers l'*orient*, s'élever, atteindre leur point *culminant*, s'abaisser ensuite et disparaître vers l'*occident;* au *nord* quelques-uns, au plus bas de leurs cours, effleurent à peine la Terre ; d'autres, toujours visibles, ne s'abaissent pas au-delà de certaines limites ; d'autres enfin paraissent presque immobiles. Par l'effet de ce mouvement général, la voûte céleste, comme une sphère immense, couverte de points étince-

lans, semble tourner dans l'espace d'un jour environ, autour d'une droite qu'on nomme l'*axe du monde*. Cette droite fictive rencontre le ciel en deux points, qui sont les *pôles*, et tous les cercles que décrivent les étoiles lui sont perpendiculaires. Le point du Ciel où se trouve l'un de ces pôles est constamment visible pour nous, ainsi que toutes les étoiles qui l'avoisinent et qui reçoivent le nom de *circumpolaires*. La partie du Ciel où l'on voit ces étoiles se distingue facilement; elle se trouve plus haut que le cercle de *perpétuelle apparition*. Le pôle opposé, au contraire, et les étoiles qui l'entourent, ne sont jamais visibles dans nos régions, et sont plus bas que le cercle de *perpétuelle occultation*. Entre ces deux cercles perpendiculaires à l'axe du monde, et qui partagent le Ciel en trois parties bien distinctes, se trouvent les astres qui sont visibles pendant une partie plus ou moins grande de leur cours.

Supposons qu'on ait vu un de ces derniers astres se *lever* ou se *coucher* derrière un édifice, en se replaçant le lendemain et les jours suivans dans le même lieu, on observera encore qu'il se lève ou se couche exactement au même point où on l'avait aperçu précédemment. Avec des instrumens convenables on reconnaîtra même qu'il décrit toujours, comme les autres étoiles, un cercle perpendiculaire à l'axe du monde. Toutes les étoiles exécutent des mouvemens semblables

avec la plus grande régularité et sans que leurs distances respectives soient sensiblement altérées.

Si l'on a une pendule parfaitement réglée, qui compte vingt-quatre heures pendant l'espace de temps qu'une étoile emploie à décrire une circonférence dans le Ciel, on trouvera qu'après douze heures l'étoile aura parcouru la demi-circonférence; qu'après six heures, elle en aura décrit le quart, et ainsi de suite; de manière que l'on peut déterminer l'arc décrit par une étoile d'après le temps qu'elle a mis à le parcourir, et que réciproquement on connaît le temps lorsque l'arc décrit est donné. Cette observation est de la plus grande importance: elle donne d'abord le moyen de construire le tableau suivant, que nous aurons souvent occasion de consulter.

TEMPS. *	ANC. DIV.	NOUV. DIV.
En 24 heures, l'étoile parcourt.	360°	ou bien 400°
12 h.	180°	200°
6 h.	90°	100°
1 h. ou 60'.	15°	16° 66' 66"
4'.	1°	1° 11' 11"
1' ou 60"	0° 15'	0° 27' 77"
4".	0° 1'	0° 01' 85"
1".	0° 0' 15"	0° 00' 46"

* De même que l'heure se partage en 60 minutes, la minute en 60 secondes, etc., on sait que le degré de l'ancienne division se partage en 60 minutes, la minute en 60 secondes, etc.; tandis que, dans la nouvelle

Quand on règle une pendule d'après le mouvement général des étoiles, la durée de vingt-quatre heures reçoit le nom de jour *sidéral*, et diffère un peu en longueur du jour *solaire* que marquent nos pendules réglées sur la marche du Soleil, comme nous le verrons par la suite. Les pendules dont on se sert dans les observatoires, indiquent généralement le temps sidéral. Il est facile de les vérifier, puisqu'il faut qu'elles aient compté exactement vingt-quatre heures pendant qu'une étoile décrit une circonférence entière dans le Ciel.

Détermination de la position des étoiles par rapport à l'équateur.

Nous avons vu précédemment que la voûte céleste paraissait faire, dans l'espace d'un jour environ, une révolution autour de l'axe du monde, et que chaque étoile faisait sa révolution dans un cercle plus ou moins grand, selon sa distance au pôle. Or, parmi toutes ces cercles, il en est un plus étendu que tous les autres, c'est celui qui est décrit par les étoiles situées à 90° de distance de l'un et de l'autre pôle; ce cercle partage le Ciel en deux parties égales ou *hémisphères*, et reçoit par ce motif le nom d'*équateur*. Une étoile qui n'est point dans l'équateur, décrit

division du cercle, le degré vaut 100 minutes et la minute 100 secondes, etc.; on représente la minute, la seconde, etc., par un, deux, ou plusieurs accens.

une circonférence que l'on nomme *parallèle*, parce que sa direction est parallèle au plan de l'équateur. Tous les points d'un parallèle sont également éloignés du pôle ; et l'on dit que leur *distance polaire* est la même ; ils sont aussi tous également éloignés de l'équateur, et conséquemment leur distance à l'équateur, ou leur *déclinaison* est encore la même pour tous.

Pour mieux nous représenter ce qui précède, imaginons (fig. 1) un axe *pp'* placé de manière que sa direction soit parallèle à celle de l'axe du monde. Nous verrons bientôt que ces deux axes se confondent sensiblement, à cause de la petitesse de la terre, qui peut être considérée comme un point situé au centre de la sphère céleste. Imaginons de plus une lunette *ll'*, fixée à cet axe, et faisant avec lui un angle *lop* de 30° par exemple. On apercevra par la lunette un point du Ciel dont la distance au pôle sera aussi de 30°, et dont la déclinaison *loe* sera de 60° ; car la distance au pôle et la déclinaison valent ensemble 90° ou la distance du pôle à l'équateur. Cette remarque nous sera utile, puisque, connaissant la déclinaison, nous pourrons toujours en déduire la distance polaire et réciproquement. Ces deux arcs valant ensemble 90°, on dit que l'un est *complément* de l'autre ; ainsi 60° est le complément de 30°. Quand la direction de la lunette coïncide avec celle de l'axe, la distance polaire *lop* est nulle,

et son complément *loe* ou bien la déclinaison est de 90° : la déclinaison pour le pôle est donc de 90° ; pour un point de l'équateur elle serait nulle ; entre le pôle et l'équateur elle a une valeur *positive*, et on l'indique par le signe +; pour un point situé de l'autre côté de l'équateur, par rapport à nous, la déclinaison est *négative*, et on l'indique par le signe —. Ainsi, quand on dit que la déclinaison d'un astre est de + 2°, cet astre se trouve dans notre hémisphère céleste à 2° de l'équateur et à 88° de notre pôle *p*, ou bien à 92° du pôle opposé *p'*. Si l'on disait que la déclinaison est de — 2°, il faudrait entendre par-là que l'astre est encore à 2° de l'équateur, mais dans l'hémisphère céleste opposé au nôtre ; cet astre se trouverait de plus à 92° de notre pôle, et à 88° du pôle opposé.

Si nous supposons maintenant qne la lunette demeure toujours fixement attachée à l'axe, et que cet axe ait la faculté de tourner sur lui-même et autour des points *p* et *p'*, la lunette décrira la surface d'un cône, l'observateur verra dans le Ciel une suite de points également éloignés du pôle et de l'équateur : ces points seront donc situés sur un parallèle. On voit, par-là, qu'il ne suffit pas d'avoir la déclinaison d'un astre pour déterminer la position de cet astre dans le Ciel ; on saurait seulement qu'il est sur un parallèle dans l'un ou l'autre hémisphère, selon que sa déclinaison se-

rait positive ou négative. Il faut donc s'occuper d'un autre élément nécessaire à la détermination de la position de cet astre.

Concevons que, l'axe étant fixe, la lunette seule tourne sur son pivot o, et décrive un plan $e\,l\,e'$, ce plan coupera la voûte céleste selon un grand cercle que l'on nomme *méridien* ou cercle *horaire*. Tous les cercles horaires se coupent mutuellement selon l'axe du monde $p\,p'$, et sont perpendiculaires à l'équateur ainsi qu'aux parallèles. D'après cela, si l'on conçoit la voûte céleste partagée en vingt-quatre parties égales par des cercles horaires, l'équateur et tous les parallèles seront en même temps partagés en vingt-quatre parties égales. De manière qu'une étoile qui décrit un parallèle en vingt-quatre heures avec une vitesse uniforme, parcourrait en une heure la vingt-quatrième partie, c'est-à-dire, la distance d'un cercle horaire à l'autre. Une lunette établie de la manière dont nous l'avons dit précédemment, devient donc fort utile pour observer la marche des astres : si l'on veut, en effet, suivre une étoile dans son cours, on commencera par diriger la lunette vers cette étoile, et on la fera tourner d'un mouvement uniforme autour de l'axe. C'est par ce moyen que l'on a reconnu que les étoiles ont leurs déclinaisons presque invariables, c'est-à-dire, qu'elles se trouvent toujours à-peu-près sur les mêmes parallèles ; on a

reconnu de plus qu'elles employaient des temps égaux à parcourir les intervalles de cercles horaires également distans, et qu'après vingt-quatre heures elles revenaient au même cercle horaire.

Une pareille lunette, munie de cercles *ele'* et *ff'* pour observer les angles, a reçu le nom d'*Equatorial*, ou *machine paralactique* : on en voit une très-belle à l'Observatoire royal de Paris ; elle marche seule et d'un mouvement continu, comme celui des astres, par l'effet d'un mouvement d'horlogerie.

Parmi tous les cercles horaires, il en existe un bien important, parce qu'il sert de point de départ pour déterminer la position des astres. Il passe par un point du Ciel que nous apprendrons à connaître plus tard : ce point se nomme l'*équinoxe du printemps*, et se trouve sur l'équateur. Tout autre point de l'équateur en est à une certaine distance, et cette distance a reçu en astronomie le nom d'*ascension droite;* elle se compte depuis o jusqu'à 360°. L'ascension droite seule ne suffit pas plus que la déclinaison seule, pour déterminer la position d'un astre dans le Ciel. Quand on dit, par exemple, qu'une étoile a 20° d'ascension droite, on peut la confondre avec toutes les autres étoiles qui se trouveraient sur un même cercle horaire, situé à 20° du cercle horaire passant par l'équinoxe. Cette incertitude n'existera plus lorsqu'en même temps que l'ascension droite on donnera

la déclinaison de l'étoile, c'est-à-dire, sa distance à l'équateur. En effet, supposons que l'ascension droite d'un astre soit de 20°, et sa déclinaison de + 2° ; pour assigner la position de cet astre, on comptera sur l'équateur, à partir du point équinoxial, un arc de 20°, et à son extrémité on remontera vers notre pôle l'espace de 2° le long d'un cercle horaire, si la déclinaison est + 2°; ou bien on comptera 2°, à partir de l'équateur vers l'autre pôle, si la déclinaison donnée est — 2°.

Quand on a, disons-nous, la déclinaison seule, on connaît dans le Ciel tous les points qui se trouvent sur un même parallèle ; si l'on a l'ascension droite seule, on connaît tous les points qui sont sur un même cercle horaire. Si l'on a à-la-fois l'ascension droite et la déclinaison, on conçoit que le point cherché doit se trouver à-la-fois sur un parallèle et sur un cercle horaire, c'est-à-dire, à l'endroit où ces cercles se coupent dans le Ciel. C'est ainsi qu'on détermine la position d'un astre dans le Ciel par rapport à l'équateur, et par rapport à un premier cercle horaire.

Détermination de la position des étoiles par rapport à l'horizon.

Nous venons de voir comment la position d'un astre est déterminée dans le Ciel par rap-

port à l'équateur, au moyen de sa déclinaison et de son ascension droite : voyons maintenant comment on pourrait déterminer la position d'un astre par rapport à d'autres termes de comparaison.

Quand on est au milieu des mers ou d'une vaste plaine, on voit se déployer autour de soi un cercle immense, qui n'a pour limite que le Ciel : ce cercle se nomme l'*horizon.* On peut se considérer comme étant au centre, et la perpendiculaire ou *verticale* va rencontrer le Ciel en deux points ; celui qui se trouve au-dessus de l'observateur est le *zénith ;* le *nadir* est le point du Ciel diamétralement opposé.

En rapportant la position d'un astre au plan de l'horizon, le rayon *visuel*, mené de l'observateur vers l'astre, forme un certain angle avec ce plan ; on le nomme l'angle de hauteur, ou simplement la *hauteur* de l'astre. Cet angle s'estime au moyen d'un *vertical* ou cercle perpendiculaire à l'horizon. Tous les verticaux se coupent évidemment selon la droite qui joint le zénith et le nadir, comme les cercles horaires se coupent tous selon la droite qui joint les pôles du monde. Un fil à plomb, que l'on tient suspendu devant soi, couvre dans le Ciel un arc de cercle qui fait partie du vertical qui passe par l'œil et le fil à plomb.

Comme dans le plus grand nombre de circons-

tances le plan de l'horizon n'est pas parfaitement uni, et que par là l'évaluation de la hauteur deviendrait très-difficile, on a recours à un autre moyen : au lieu de mesurer sur le vertical la distance de l'horizon à l'astre, c'est-à-dire, la hauteur, on mesure sur le même vertical la distance de l'astre au zénith, ou sa *distance zénithale.* On a compté depuis l'horizon jusqu'au zénith 90 degrés, qui se composent de la hauteur de l'astre, et de sa distance zénithale. Si, par exemple, la hauteur était de 30°, la distance zénithale serait de 60°, et ces deux valeurs ensemble vaudraient 90° ou un angle droit. Il résulte de là que, connaissant la hauteur, on en déduit la distance zénithale, et réciproquement; car l'une de ces quantités est toujours complémentaire de l'autre, comme la déclinaison est complémentaire de la distance polaire.

Il est évident, d'après ce qui précède, qu'un astre, à l'instant précis de son lever, a pour hauteur 0°, et pour distance zénithale 90°. La hauteur devient ensuite de plus en plus grande, jusqu'à ce que l'astre atteigne son point culminant; puis elle diminue successivement. Le point culminant est plus ou moins élevé pour les différens astres. La suite de tous les points culminans dessine dans le Ciel un vertical que l'on nomme le *méridien* du lieu d'observation. Ce plan partage en deux parties égales les arcs visibles que par-

courent les astres au-dessus de l'horizon ; de telle manière que tous ces astres montent d'un côté du méridien et descendent de l'autre. Ce plan est de la plus grande importance en astronomie ; on l'a nommé méridien, parce que nous disons qu'il est *midi* quand le Soleil s'y trouve. En se plaçant alors de manière à avoir le Soleil devant soi, on est tourné vers le *midi*, l'on a derrière soi le *nord ;* et les deux autres points *cardinaux,* l'*est* et l'*ouest,* ou l'orient et l'occident, se trouvent à gauche et à droite.

Puisque le méridien est un vertical, il passe par le zénith et le nadir ; il passe aussi par les pôles du monde. Le méridien a donc la double propriété d'être à-la-fois un vertical et un cercle horaire ; il contient en conséquence la verticale du lieu d'observation et l'axe du monde. Pour déterminer sa direction *ele'*, il faudra trouver celle de ces deux droites. Or la verticale *zn* est indiquée par la direction du fil à-plomb, et la direction de l'axe du monde l'est par celle du rayon visuel mené vers le pôle. Il est donc inutile d'ajouter que le méridien est perpendiculaire à-la-fois à l'horizon et à l'équateur, puisqu'il contient deux perpendiculaires à ces plans. Nous croyons devoir faire observer que, dans tout ce qui précède, nous avons toujours supposé que le spectateur ne changeait pas de place ; s'il en était autrement, ce spectateur, comme nous l'expliquerons

plus en détail par la suite, changerait aussi d'horizon, et conséquemment de zénith et de nadir; mais l'équateur et les pôles resteraient toujours invariables : leur position est relative au cours des astres, et celle de l'horizon au lieu qu'occupe le spectateur.

Supposons que *hzh'* soit le méridien, *hh'* l'horizon, et *ee'* l'équateur, il sera bon d'observer que *poh*, *la hauteur du pôle*, est le complément de *zop*, la distance du pôle au zénith; mais *eoz*, la distance du zénith à l'équateur, est aussi le complément de l'angle *zop* : conséquemment *poh* est égal à *eoz*. Cette observation est de la plus grande utilité en géographie; nous aurons occasion d'y avoir recours en parlant de la détermination d'un lieu sur notre globe.

Si l'on connaissait la hauteur d'un astre seulement, sa position ne serait point entièrement déterminée. Il y a dans le Ciel une infinité de points qui ont même hauteur, et qui tous se trouvent sur un cercle parallèle à l'horizon. Ce cercle a reçu des Arabes le nom d'*almicantarat*. Il a, comme l'horizon, le zénith et le nadir pour pôles, et son rayon est plus ou moins grand, selon que l'astre est moins ou plus élevé. Un almicantarat est, par rapport à l'horizon, ce qu'un parallèle est par rapport à l'équateur.

Il faudrait, pour connaître exactement la place d'un astre dans le Ciel, avoir, indépendamment

de sa hauteur, son *azimut*, ou l'angle que fait le vertical dans lequel il se trouve avec le vertical que nous avons nommé méridien. On compte l'azimut arbitrairement depuis le point nord de la méridienne ou depuis le point sud, et d'occident en orient, ou d'orient en occident. Par exemple, si la hauteur d'un astre est 20°, et son azimuth 40°; pour retrouver cet astre dans le Ciel, on se placera dans le plan du méridien; on s'en écartera ensuite de 40°, et l'on se trouvera dans le plan du vertical qui contient l'astre; il ne s'agira plus alors que de compter 20° de l'horizon vers le zénith pour arriver jusqu'à l'astre. On nomme *méridienne* la ligne d'intersection du méridien avec l'horizon. Cette ligne est évidemment perpendiculaire à celle selon laquelle l'équateur coupe également l'horizon. Ce dernier plan est donc coupé en quatre parties égales par la méridienne et sa perpendiculaire; et les extrémités de ces droites indiquent les quatre points cardinaux.

L'*amplitude* d'un astre est le complément de l'azimut, et l'on dit qu'elle est *ortive* ou *occase*, selon qu'on l'estime vers l'orient ou vers l'occident.

De tout ce qui précède, nous conclurons qu'on peut indifféremment déterminer la position d'une étoile, soit par rapport à l'équateur, au moyen de sa déclinaison et de son ascension droite, soit par rapport à l'horizon, au moyen de la hauteur

et de l'azimut. Dans l'un et l'autre cas, deux élémens sont nécessaires ; mais on remarquera que, quand on rapporte l'étoile à l'horizon, les deux élémens varient à chaque instant, tandis qu'il n'en est pas de même quand on la rapporte à l'équateur. Cette dernière méthode étant la plus facile, les astronomes en font plus souvent usage. D'ailleurs le calcul offre des moyens très-simples pour déterminer la déclinaison et l'ascension droite d'une étoile, quand on connaît son azimut et sa hauteur : comme aussi l'on peut déterminer ces derniers élémens au moyen des premiers.

L'équateur et l'horizon ne sont pas les seuls plans auxquels on rapporte les astres ; il en est encore un autre que les astronomes ont nommé l'*écliptique*, et que nous ferons connaître plus loin. Les élémens de position sont alors la *longitude* et la *latitude*. Il ne faut pas confondre ces termes avec ceux que l'on emploie dans la géographie, en rapportant les points du globe à l'équateur terrestre.

CHAPITRE II.

De la formation d'un observatoire et des principaux instrumens astronomiques.

Un observatoire, pour devenir utile à la science, n'exige point de vastes proportions ; on place ordinairement un pareil monument dans un lieu découvert, d'où l'œil puisse apercevoir, autant que possible, les différens points de l'horizon, mais surtout du côté du midi. L'astronome peut alors établir ses instrumens sur le sol, et cet avantage contribue à donner de l'exactitude aux observations; car on a remarqué que les monumens trop élevés subissent, par différentes causes, de petites oscillations qui pourraient devenir nuisibles.

Ce n'est pas non plus par la quantité d'instrumens qu'un observatoire doit se distinguer, mais plutôt par leur précision. L'art d'observer a été porté si loin, dans ces derniers temps, que l'on ne peut guère espérer de rendre quelque service à la science, si l'on n'est muni d'instrumens travaillés avec la plus grande perfection.

Une bonne *pendule astronomique* doit être mise en première ligne, et on ne peut apporter trop de soin dans le choix des instrumens qui doivent servir à la mesure du temps. On règle ordinai-

rement la pendule, comme nous l'avons dit précédemment, sur le temps sidéral, c'est-à-dire, d'après la marche des étoiles, en comptant vingt-quatre heures entre les deux *passages* successifs d'une même étoile au méridien. L'instrument qui sert ordinairement à faire cette observation, se nomme *lunette méridienne* ou des passages. Sa construction est très-simple : c'est une lunette montée sur un axe de rotation dont les extrémités s'appuient sur deux massifs de pierre, à-peu-près comme un canon est porté sur son affût. En tournant sur son axe, la lunette décrit un plan vertical qui est celui du méridien, de sorte que l'observateur peut apercevoir les différens astres à mesure qu'ils arrivent dans ce plan. Sa position doit être souvent rectifiée, car la moindre déviation ferait décrire à l'instrument un plan autre que celui du méridien. On place ordinairement dans l'intérieur un *réticule* mobile, ou diaphragme, partagé horizontalement en deux parties égales par un fil très-mince, et dans le sens vertical, par un autre ; souvent même on en met plusieurs également espacés. En plaçant alors l'œil devant la lunette, on aperçoit un certain espace circulaire du Ciel que l'on nomme le *champ de la lunette*, et qui se trouve sous-divisé par les fils, qui se coupent à angles droits. Pour mieux apercevoir les fils pendant la nuit, on éclaire l'intérieur de l'instrument, au moyen

d'une faible lumière qu'on introduit latéralement par un des tourillons. On fait mouvoir la lunette jusqu'à ce que l'étoile qu'on observe, se trouve près du fil horizontal ; et quand elle arrive au point où les deux fils perpendiculaires se croisent, on note l'instant de la pendule auquel l'astre a passé par ce point ; c'est ce que l'on nomme la *culmination* de l'astre, ou bien encore sa *médiation*. Cette observation demande quelque adresse, parce qu'ordinairement on observe successivement l'étoile derrière plusieurs fils verticaux que l'on ramène l'un après l'autre au centre optique de la lunette, et que ces différentes opérations doivent s'exécuter dans un temps très-court. On a, du reste, par là, l'avantage de faire plusieurs observations au lieu d'une. On observe l'astre au méridien, et successivement à des distances égales du méridien, et des deux côtés de ce plan.

L'usage de la lunette méridienne est donc de donner l'instant où un astre passe au méridien. Elle peut donc servir à déterminer la différence d'ascension droite de deux étoiles, par le temps qui s'écoule entre leurs passages successifs. Si, par exemple, la seconde étoile se présente au méridien une heure après l'autre, la différence des ascensions droites sera de 1 h. ou 15°; elle ne serait que d'un degré, si les deux étoiles passaient au méridien 4' l'une après l'autre, comme on peut le voir d'ailleurs

par la table que nous avons donnée plus haut.

Il est un autre instrument non moins utile que la lunette des passages, c'est le *cercle mural;* sa destination est de faire connaître la distance d'un astre à l'équateur ou bien à l'horizon, c'est-à-dire, sa déclinaison ou bien sa hauteur. Le mural se compose d'un cercle très-exactement divisé, dont la direction coïncide avec le plan du méridien. Il porte à son centre une lunette qui, en tournant, décrit le même plan, ainsi que la lunette des passages, et qui se trouve également munie d'un réticule dans son intérieur. On ramène l'étoile qui passe au méridien derrière le point où se croisent les fils du réticule, et on lit sur les divisions du cercle l'élément que donne cet instrument. Le cercle mural est fixé contre un massif de pierre, appuyé sur de solides fondemens, comme ceux qui portent la lunette méridienne.

Aux instrumens qui précèdent, il faut joindre encore l'équatorial, dont nous avons déjà parlé, ainsi que le *cercle répétiteur,* dont la description nous entraînerait dans de trop longs détails. Les astronomes sont aussi pourvus de plusieurs lunettes catoptriques et dioptriques de différentes dimensions, dont la description appartient plutôt à la physique qu'à l'astronomie.

Un des premiers soins des astronomes, lorsqu'ils ont été munis d'instrumens, et qu'ils ont

pu faire des observations un peu suivies, a dû être sans doute de dresser des catalogues d'étoiles, qui sont, pour ainsi dire, des inventaires du Ciel. C'est ainsi qu'ils ont pu reconnaître quels étaient les astres qui conservaient invariablement leur même position, et qui sont nommés, par ce motif, *étoiles fixes,* et ceux enfin qui paraissaient avoir un mouvement propre indépendant de la révolution *diurne.* Ces derniers, en petit nombre, ont été compris sous la dénomination de *planètes*, c'est-à-dire, astres errans.

Formation d'un catalogue d'étoiles.

L'insuffisance de la mémoire, pour se rappeler les positions de tant de milliers d'astres, a fait imaginer des moyens pour y remédier. On a groupé les étoiles les plus marquantes, l'imagination y a attaché certaines formes, et la voûte céleste est devenue un tableau immense où les figures les plus variées sont venues se dessiner. Ces groupes d'étoiles constituent les diverses *constellations* ou *astérismes.* La première division du Ciel a dû être bien incomplète sans doute; mais elle s'est ensuite régularisée chez les Grecs, vers le temps de Thalès et d'Anaximandre. Plus tard, Aristille et Timocharis, par leurs nombreuses observations dans

la célèbre école d'Alexandrie, ajoutèrent à ces premiers essais; mais c'est à Hipparque, le plus grand astronome de l'antiquité, que l'on dut les premiers efforts pour ramener le dénombrement des étoiles à des principes sûrs et à une méthode régulière. Cet observateur entreprit cet important travail après la disparition subite d'une grande étoile, qui eut lieu de son temps; il voulut donner à la postérité les moyens de juger des changemens semblables qui auraient pu désormais survenir dans le Ciel. Le résultat de ses travaux nous a été conservé dans la grande collection de Ptolémée, qui observait à Alexandrie environ cent trente ans après Jésus-Christ. Le catalogue célèbre qui nous a été transmis contient mille vingt-deux étoiles, déterminées par leur longitude et leur latitude, et distribuées en quarante-huit constellations.

On conçoit que ce nombre a dû prodigieusement augmenter depuis la découverte des instrumens d'optique, qui ont permis aux regards des astronomes de plonger plus avant dans la profondeur du Ciel, et de découvrir des milliers d'astres invisibles à l'œil nu. Aussi il serait impossible actuellement d'assigner le nombre des étoiles. Herschel, dans un étroit espace du Ciel, en a compté plus de quarante-quatre mille, au moyen du télescope. Ce nombre est prodigieux et a de quoi étonner l'imagination, si l'on a

égard aux distances qui doivent encore séparer ces astres les uns des autres.

Les anciens nommaient étoiles *informes* celles qui ne faisaient point partie de quelqu'une de leurs constellations. Leur nombre a considérablement augmenté par les travaux modernes, et l'on a senti le besoin de faire un nouveau classement des étoiles, et de créer de nouvelles constellations. Halley se transporta, en 1677, à l'île de Sainte-Hélène, et y détermina la position de trois cent soixante-dix-sept étoiles qui avaient été jusque-là mal indiquées. Vers le même temps, Flamsteed, qui fit construire l'observatoire royal de Greenwich, composait un nouveau catalogue, qu'il publia en 1714, et qui contenait deux mille cent soixante-seize étoiles. Plus tard le célèbre astronome Lacaille se transporta, pour observer le ciel austral, au cap de Bonne-Espérance, et, en moins d'un an, il détermina, avec une constance et une adresse inconcevable, les positions de près de dix mille étoiles. Ce nouveau catalogue ajouta seize nouvelles constellations à celles qui étaient connues des anciens; Bayer et Hévélius en avaient déjà ajouté chacun douze, et Halley, huit. De sorte que le ciel étoilé se trouve maintenant partagé en cent huit constellations, en comptant les douze qui ont été formées par les astronomes modernes.

Un des catalogues d'étoiles les plus étendus

qu'on ait formés est celui de Lalande et de son neveu Le Français-Lalande. Il contient cinquante mille étoiles ; celui dont on se sert maintenant a été construit par Piazzi, célèbre astronome de Palerme. Ce catalogue, aussi complet que le précédent, a l'avantage d'être fondé sur un très-grand nombre d'observations faites avec autant d'habileté que de persévérance et favorisées par la pureté du ciel d'Italie. On concevra sans peine l'importance d'un bon catalogue d'étoiles, puisqu'il peut seul nous instruire des petits changemens qui surviennent dans le Ciel, puisqu'il peut seul nous révéler l'apparition subite d'un astre, ou bien enfin l'existence d'une planète que l'on aurait pu prendre autrement pour une étoile fixe.

Au moyen de la lunette méridienne, du cercle mural et d'une bonne pendule astronomique, on pourra construire un catalogue. Il suffira, en effet, d'inscrire sur un registre les noms des différentes étoiles, en indiquant leur ascension droite et leur déclinaison. Il faudra, pour les indiquer convenablement, marquer encore à quelle constellation chacune d'elles appartient en particulier. Pour aider à reconnaître les étoiles qui forment le même groupe, on les a rangées par ordre de grandeur ; et l'on dit qu'une étoile est de première, de seconde, de troisième, etc., grandeur. Les étoiles qui dépassent

la cinquième ou sixième grandeur ne sont guère visibles à la vue simple ; on les a nommées *télescopiques*. On conçoit qu'un pareil classement est assez arbitraire ; aussi les astronomes ne sont pas d'accord sur les grandeurs de toutes les étoiles ; ils en comptent dix-sept à dix-neuf de première grandeur. Autrefois on imposait des noms aux étoiles connues ; mais lorsque le nombre devint plus considérable, il fallut employer une méthode plus précise et plus régulière : on les désigna par des numéros et des lettres. Bayer proposa d'indiquer successivement les étoiles les plus brillantes par les lettres de l'alphabet grec, puis par celles de l'alphabet romain, et quand toutes ces lettres n'étaient point suffisantes, d'employer des numéros. D'après cette méthode, α de la grande ourse est l'étoile la plus brillante de cette constellation. On indique encore, dans le catalogue si l'étoile est de première, deuxième, etc., grandeur.

Par le cercle mural, on détermine ensuite la déclinaison de l'étoile qu'on inscrit également sur le registre à côté de l'indication de cette étoile. Quant à l'ascension droite, on aura soin de régler d'abord la pendule, de manière à marquer midi quand l'équinoxe, dont nous avons parlé page 8, arrivera au méridien. Si une étoile se présente après l'équinoxe, on l'observera par la lunette des passages, et le temps indiqué par

la pendule fera connaître l'ascension droite. Si, par exemple, l'étoile passe une heure et deux minutes après l'équinoxe, son ascension droite sera de 15° 30', comme l'indique le tableau qui a été construit précédemment. L'on inscrira alors ces deux nombres à côté de la déclinaison, et l'on aura tous les élémens nécessaires pour retrouver l'astre dans le Ciel; on aura même les données nécessaires pour calculer la hauteur et l'azimut de cet astre pour un lieu et un instant donné. On pourra se faire une idée d'un catalogue pareil en jetant les yeux sur le tableau suivant. Il est extrait de la *Connaissance des Temps*, que publie annuellement le bureau des longitudes de France, et contient les étoiles de première grandeur. Il nous sera utile par la suite pour reconnaître l'état du Ciel à une heure donnée.

CATALOGUE des étoiles visibles à Paris, pour le commencement de 1820.

NOMS DES ÉTOILES.	ASCENSION DROITE moyenne.					VARIATION annuelle.		DÉCLINAISON moyenne.				VARIATION annuelle.		
	h.	m.	d.	m.	s.	sec.	dix.	d.	m.	s.			sec.	dix.
Pégase γ.	0	4	0	59	35	46	1	14	10	56	B	+	20	0
L'Œil du Taur. ou Aldébaran	4	26	66	24	0	51	4	16	8	19	B	+	7	8
La Chèvre (Cocher). . . .	5	3	75	51	7	66	3	45	48	8	B	+	4	5
Rigel (Orion)	5	6	76	28	21	51	8	8	25	2	A	—	4	7
Orion α.	5	45	86	21	24	48	6	7	21	52	B	+	1	3
Sirius (Chien).	6	37	99	18	18	39	8	16	28	33	A	+	4	4
Castor (α Gémeaux). . . .	7	23	110	46	28	57	8	32	16	22	B	—	7	2
Procyon (petit Chien). . .	7	30	112	28	2	47	1	5	40	46	B	—	8	6
Régulus ou le Cœur du Lion.	9	59	149	41	39	48	1	12	50	36	B	—	17	3
Vierge α.	13	16	198	55	50	47	2	10	13	5	A	+	19	0
Arcturus (Bouvier). . . .	14	7	211	51	45	40	9	20	7	28	B	—	19	0
Antarès (Scorpion). . . .	16	18	244	35	49	54	9	26	1	21	A	+	8	7
Lyre α.	18	31	277	42	37	30	4	38	37	19	B	+	2	9
Aigle α.	19	42	295	29	56	43	9	8	24	5	B	+	9	0
Famalhaut (Poisson) . . .	22	48	341	55	14	50	1	30	34	25	A	—	18	8

On reconnaît par ce tableau que lorsque la pendule, réglée d'après le temps sidéral, marquera 4 heures 26 minutes, on verra paraître au méridien l'étoile nommée l'*Œil du taureau* ou *Aldébaran*. L'ascension droite de cette étoile est de 66° 24' et sa déclinaison boréale de 16° 8' 19". Les nombres compris dans les deux colonnes intitulées *Variation annuelle*, ont un usage qui sera expliqué plus tard.

CHAPITRE III.

Des Constellations.

Nous allons maintenant faire connaître les différentes constellations, les noms des astronomes qui les ont composées, ainsi que le nombre des étoiles visibles à l'œil nu que chacune d'elles renferme. Nous indiquerons par la lettre *a* celles qui sont situées dans l'hémisphère austral, et qui pour nous sont toujours au-dessous du cercle de perpétuelle occultation. La lettre *n* désignera les constellations de notre hémisphère, toujours visibles au-dessus de notre horizon. Enfin, la lettre *e* indiquera celles qui, situées entre les cercles de perpétuelle occultation et de perpétuelle apparition, ne sont visibles que pendant une partie de leurs cours.

Constellations de Ptolémée, au nombre de 48 (1).

	Nombre des étoiles.
Petite Ourse, ou Cynosure * *n*	22
Grande Ourse ** *n*	87
Dragon * *n*	85
Céphée * *n*	58
Le Bouvier * *e*	70
La Couronne boréale * *e*	33
L'Agenouillé * (Hercule) *e*	128
La Lyre * *e*	21
La Poule * ou le Cygne *e*	85
Cassiépée * (Cassiopée) *n*	60
Persée * *n*	65
Le Cocher * *e*	69
Ophiuhus *, ou le Serpentaire *e*	85
Le Serpent *e*	61
La Flèche (et le Renard) *e*	18
L'Aigle* et Antinoüs *e*	26
Le Dauphin *e*	19
Section antérieure du Cheval (Petit Cheval) *e*	10
Le Cheval * Pégase *e*	91
Andromède * *e*	71
Le Triangle *e*	15
Le Bélier (et la Mouche) *e*	42
Le Taureau * *e*	207

(1) Ce catalogue est extrait de l'Astronomie de Delambre, tome I, page 479. Les constellations les plus importantes sont indiquées d'un astérisque.

Les douze constellations ajoutées par Hévélius, sont :

Le Mont Ménale auprès du Bouvier *e*	9
Les Chiens de chasse, Astérion et Chara *e* ..	38
La Girafe *n*	69
Cerbère entre les mains d'Hercule *e*	13
La Chevelure de Bérénice * *e*	43
Le Lézard *n*	12
Le Lynx *n*	45
L'Écu de Sobieski *e*	16
Le Sextant d'Uranie *e*	54
Le Petit Triangle *e*	7
Le Petit-Lion *e*	55

CIEL AUSTRAL.

Les huit constellations ajoutées par Halley dans la partie australe, sont :

La Colombe..............................	15
Le Chêne de Chàrles II..................	12
La Grue (*voyez* Bayer)...............	20
Le Phénix	24
Le Paon.................................	23
L'Oiseau indien ou sans pieds...........	11
La Mouche...............................	9
Le Caméléon.............................	16

Sans compter le Cœur de Charles II, qu'il a placé sur le collier de Chara, l'un des chiens d'Hévélius.

Douze constellations de Bayer.

L'Indien	17
La Grue	20
Le Phénix	24
L'Abeille, ou la Mouche	9
Le Triangle austral	5
L'Oiseau de Paradis	11
Le Paon	23
Le Toucan	18
L'Hydre mâle	20
La Dorade	15
Le Poisson volant	9
Le Caméléon	16

Seize constellations de Lacaille.

L'Atelier du sculpteur	28
Le Fourneau chimique	39
L'Horloge astronomique	24
Le Réticule rhomboïde	9
Le Burin du graveur	15
Le Chevalet du peintre	10
La Boussole	14
La Machine pneumatique	8
L'Octant	43
Le Compas et le Cercle	7
L'Equerre et la Règle	15
Le Télescope	8
Le Microscope	10

La Montagne de la table	8	
Grand et petit Nuage, ...		
La Croix * — *Royer*	11	

Douze autres constellations modernes.

Le Renne, *n*	12	Lemonnier.
Le Solitaire	22	*idem.*
Le Messier, *n*	7	Lalande.
Le Taureau de Poniatowski ..	18	Poczobut.
Les Honneurs de Frédéric		Bode.
Le Sceptre de Brandebourg		*idem.*
Le Télescope de Herschel		*idem.*
Le Globe aérostatique		*idem.*
Le Quart de cercle mural		*idem.*
Le Chat		*idem.*
Le Loch		*idem.*
La Harpe de George		Hell.

Nous venons d'énumérer les différentes constellations du Ciel; nous allons nous occuper maintenant de les faire connaître plus particulièrement. Il sera bon de se familiariser d'abord avec les positions des principales, de celles surtout qui sont toujours visibles sur notre horizon. La constellation qui, sous ce rapport, mérite le plus de fixer notre attention, est le *Charriot de David* ou la *grande Ourse:* elle occupe dans le Ciel un espace assez étendu, et présente sept étoiles fort brillantes; quatre sont disposées en

rectangle, et trois autres sont disposées en arc et à distances à-peu-près égales sur le prolongement d'un des côtés du rectangle que forment les premières. A ces trois étoiles, qui composent la *queue*, sont directement opposées dans le rectangle, les *gardes* désignées par les lettres α et β. Cette constellation est si remarquable, qu'elle est généralement connue, même des personnes qui se sont très-peu occupées d'astronomie. Il sera bon, pour l'intelligence de ce qui suit, de jeter les yeux sur le *planisphère* placé à la fin de cet ouvrage, ou de suivre la méthode que nous allons indiquer, et que l'on nomme *méthode des alignemens*. Elle consiste à déterminer la position d'une étoile que l'on cherche par le prolongement d'une droite menée par deux autres que l'on connaît (1). On pourrait, s'il en était besoin, s'aider d'un fil tendu dans la direction des deux étoiles connues; ce fil couvrirait dans le Ciel une suite de points qui seraient sur un grand cercle de la sphère. Pour avoir une base dans le Ciel, il sera bon aussi de se rappeler que la distance des gardes de la grande Ourse est d'environ 5 degrés, et que le diamètre apparent du Soleil ou de la Lune est d'environ un demi-degré.

Si l'on prolonge la droite qui passe par les

(1) Les personnes qui désireront des cartes du Ciel un peu détaillées, pourront consulter celles de Ruelle ou celles qui se trouvent dans l'Uranographie de Francœur dont la nôtre est extraite, ou enfin les excellentes cartes de Bode et de Harding.

gardes, sa direction rencontrera l'étoile *Polaire*. Cette étoile est ainsi nommée à cause de son voisinage du pôle boréal, dont elle n'est éloignée que d'un degré et demi environ. Elle arrive à-peu-près au méridien inférieur en même temps que la première des trois étoiles de la queue de la grande Ourse, la plus voisine du quadrilatère. On pourra donc savoir, au moyen d'un fil à plomb, quand cette circonstance aura lieu. La Polaire fait partie de la *petite Ourse*, qui a presque la même figure que la grande Ourse; elle lui est parallèle, mais dans une situation renversée. Elle présente aussi sept étoiles principales. La Polaire est à l'extrémité de la queue; les deux dernières du rectangle β et γ sont les *gardes* de la petite Ourse; elles sont des deux côtés de la ligne perpendiculaire, au milieu des deux grands côtés du carré de la grande Ourse.

La grande et la petite Ourse sont séparées par une suite d'étoiles qui forment la *queue* du *Dragon*. Cette dernière constellation enveloppe presque entièrement la petite Ourse. La queue du Dragon commence entre l'étoile Polaire et le carré de la grande Ourse; elle se prolonge derrière les gardes de la petite Ourse où elle présente une étoile de 2[e] grandeur α; le corps se replie ensuite deux fois sur lui-même, et se termine sur la droite menée de l'étoile α de la grande Ourse par les gardes de la petite. La *tête* du Dra-

gon présente quatre étoiles de 3e grandeur en losange très-visibles.

Les anciens supposaient que Jupiter, sous les traits de Diane, avait surpris la nymphe Calisto, et en avait eu un fils nommé Arcas. Junon, irritée de la perfidie de son époux, métamorphosa Calisto en Ourse. Jupiter alors la plaça dans le Ciel, ainsi que son chien, qui forme la petite Ourse : son fils Arcas forma également une constellation, sous le nom du *Bouvier*. Junon, pour compléter sa vengeance, pria Thétis d'empêcher la nymphe adultère de se plonger dans les ondes pures de l'Océan, et préposa à sa garde le Dragon qui serpente autour d'elle.

Calisto, dont le char craint les flots de Thétis,
Vers les glaces du nord brille auprès de son fils ;
Le Dragon les embrasse ainsi qu'un fleuve immense (1).

DELILLE.

Arcturus, la principale étoile du *Bouvier*, l'une des plus brillantes du Ciel, se trouve à-peu-près *sur l'alignement* des deux dernières étoiles de la queue de la grande Ourse. Dans la direction du nord-est, cinq autres étoiles forment un pentagone qui appartient à la même constellation.

(1) Maximus hic flexu sinuoso elabitur anguis
Circùm, perque duas in morem fluminis arctos,
Arctos Oceani metuentes æquore tingi.

VIRG. *Georg.*

La main supérieure du Bouvier, formée de trois petites étoiles, est près de la queue de la grande Ourse, et tient en lesse les *deux Lévriers*, placés au-dessous de cette même queue. Le *cœur de Charles*, étoile de 3e grandeur, est sur le cou d'un des lévriers dans l'alignement de α de la queue du Dragon, et de ζ de celle de l'Ourse. La position de la main du Bouvier rappelle deux vers d'une des plus jolies compositions d'Anacréon (1).

Cassiopée est directement opposée à la grande Ourse ; l'étoile Polaire sépare en deux parties à-peu-près égales l'intervalle d'une de ces constellations à l'autre. Cinq étoiles de 3e grandeur, très-remarquables, forment Cassiopée, et représentent à-peu-près la lettre M, dont les jambages seraient fort écartés.

Céphée est entre cette dernière constellation et la petite Ourse ; elle présente trois étoiles de 3e grandeur sur un arc qui tourne sa convexité vers le Dragon. La ligne droite, qui passe par les gardes de la grande Ourse et la Polaire, passe aussi par l'extrémité de cet arc.

(1) *Στρέφεται ὅτ' Αρκτος ἤδη*
Κατα χεῖρα τὴν βοωτου. *

Ode IIIe.

* Lorsque déjà l'Ourse tourne autour de la main du Bouvier.

Cassiopée était femme de Céphée, roi d'Éthiopie, et mère d'*Andromède*. Elle eut la vanité de se croire, avec sa fille, plus belle que Junon et que les Néréides. Neptune, pour les punir, envoya un *dragon* qui fit des ravages épouvantables ; et Céphée se vit obligé de lui exposer sa fille Andromède, enchaînée sur un rocher. *Persée*, armé de la tête de *Méduse*, et monté sur *Pégase*, métamorphosa le monstre en rocher, et obtint de Jupiter que Cassiopée serait placée parmi les astres. Cette fable a été fort bien décrite dans le quatrième livre des Métamorphoses d'Ovide.

La ligne droite, qui passe par les gardes de la grande Ourse et la Polaire, étant prolongée au-delà de Cassiopée, va traverser le milieu du carré de *Pégase*, formé de quatre étoiles de seconde grandeur. La plus boréale des quatre forme la *tête d'Andromède ;* celle qui lui est opposée se nomme *Markab;* les deux autres γ et β sont *Algénib* et *Schéat*. La diagonale du carré qui passe par Markab ou α rencontre successivement, à des distances presque égales, α la tête d'Andromède, β *la Ceinture*, γ le Pied, et passe près de α, *la tête de Persée*. Ces sept étoiles, disposées à-peu-près de la même manière que celles de la grande Ourse, mais plus régulièrement, sont très-brillantes, et forment ce qu'on appelle la *Grande-Croix*.

La diagonale du carré de la grande Ourse rencontre aussi la tête de Persée ; et, prolongée un

peu au-delà, elle passe par *la tête de Méduse* ou *Algol*; cette dernière étoile fait partie de la constellation de Persée : elle est remarquable, en ce qu'elle change de lumière tous les trois jours. Persée offre deux files d'étoiles, dont l'une forme un arc qui tourne sa concavité vers le nord ; l'autre se dirige vers le midi, le long d'un cercle horaire.

La diagonale du carré de Pégase, menée par Schéat et Algénib, se dirige au nord-ouest vers la queue *α du Cygne* ou *la Croix*. Cette étoile est de seconde grandeur, et forme, avec γ et β, la grande branche de la croix qui se trouve avec Cassiopée et Persée, dans la partie blanchâtre du Ciel, nommée la *Voie Lactée*. L'autre branche de la croix, $\varepsilon\gamma\delta$, ou bien les ailes du Cygne sont dans la direction de la tête du Dragon.

Des deux côtés du Cygne, et un peu plus bas, se présentent l'*Aigle* vers l'orient, et la *Lyre* vers l'occident. La première de ces deux constellations se compose de trois étoiles en ligne droite, et assez rapprochées : celle du milieu, *Altaïr*, est de première grandeur. La Lyre est aussi représentée sous la forme d'un *vautour tombant*, tandis que l'*Aigle* s'élance vers le nord. La Lyre se distingue par une étoile de 1re grandeur *Wéga*, qui est l'une des plus belles du Ciel.

La fable rapporte que Jupiter, pour séduire Léda, se métamorphosa en *cygne*, et se réfugia

auprès d'elle, en ayant l'air de fuir devant Vénus, qui s'était transformée en *aigle*. Léda mit au monde *Castor et Pollux*, dont les astres furent placés au Ciel. La Polaire se trouve à-peu-près entre cette dernière constellation et les deux premières.

Les *têtes*, α et β, de Castor et Pollux, ou des *Gémeaux*, se trouvent dans la direction $\delta\beta$ de la diagonale de la grande Ourse ; elles sont assez rapprochées, et forment, avec plusieurs autres étoiles, un quadrilatère oblique très-reconnaissable. Les *Pieds* sont tournés vers le sud.

Entre les Gémeaux et Persée, se trouve encore une constellation bien facile à reconnaître, c'est le *Cocher;* elle se compose de cinq étoiles principales, disposées en pentagone irrégulier ; l'une d'elles, la *Chèvre*, est de première grandeur ; elle est vers le nord, sur la direction du côté boréal du carré de la grande Ourse. On nomme aussi le Cocher, *Érichton*, ou bien encore *Phaéton*. On sait que ce jeune imprudent voulut conduire le char du Soleil ; mais, effrayé à la vue du *Scorpion*, il abandonna les rennes, et fut précipité dans l'*Éridan*.

Dans l'espace du Ciel compris entre les Gémeaux, le Cocher, Persée, Cassiopée, la grande et la petite Ourse, l'on trouve peu d'étoiles marquantes. Cette partie contient plusieurs constellations modernes, telles que la *Girafe*, le *Lynx*, le *Renne*.

Pour compléter la description des principales constellations situées dans notre hémisphère boréal, il nous reste à parler de celles qu'on remarque entre la Lyre et le Bouvier, et plus bas que le Dragon. Sur la ligne menée d'Arcturus à la Lyre, on rencontre d'abord la *Couronne* et *Hercule*. La Couronne est une petite constellation située près du Bouvier ; elle est facilement reconnaissable par les sept étoiles disposées en demi-cercle, dont elle est composée ; l'une d'elles est de seconde grandeur. Hercule est plus rapproché de la Lyre ; cette constellation se distingue par un quadrilatère *ηπεζ* d'étoiles de 3e grandeur ; la diagonale qui se dirige vers le midi, va passer entre la *tête α* d'Hercule et la *tête α d'Ophiuhus*, étoile de 2e grandeur, qui en est voisine. Hercule a un genou et un pied appuyés sur la tête du Dragon ; Ophiuchus, ou le *Serpentaire*, tourne au contraire les pieds vers le sud ; il est enveloppé du *Serpent*, dont la *tête*, au-dessous de la Couronne, forme une espèce d'Y oblique. Au bas de l'Y, on trouve *α, le cœur* du Serpent ; le reste de cette constellation offre une file immense d'étoiles qui traverse le Serpentaire, et va aboutir vers l'Aigle, où se trouve la *queue* du Serpent.

En allant de la Tête d'Ophiuchus à la Lyre, on voit un petit groupe d'étoiles qu'on nomme *Cerbère* ou le *Rameau ;* dans son voisinage et dans la voie lactée, se trouvent encore plusieurs petites cons-

tellations dont nous n'avons pas parlé : telles que le *Renard* qui enlève l'*Oie*, plus bas que le Cygne ; la *Flèche* d'Hercule, au-dessus de l'Aigle; et à côté de cette dernière constellation , le *Dauphin* , bien remarquable par quatre petites étoiles en losange; enfin, *Antinoüs* et l'*Écu de Sobieski*, tous deux dans la voie lactée, au-dessous de l'Aigle.

Avant de parler des constellations qui sont dans le voisinage de l'équateur et qui sont de la plus grande importance en astronomie , nous allons nous occuper de déterminer la position des constellations à un instant donné. Nous avons dit qu'en réglant la pendule d'après le temps sidéral, il fallait qu'elle marquât $0^h\ 0'\ 0''$ au moment où l'équinoxe du printemps passait chaque jour au méridien. Or, ce point, que nous déterminerons par la suite , arrive au méridien presque en même temps que plusieurs étoiles remarquables , telles que α d'Andromède et γ du carré de Pégase, β d'Andromède , δ de la grande Ourse au-dessous du pôle. Lorsqu'on tendra un fil dans cette direction, l'on aura donc la position du cercle horaire qui contient l'équinoxe, et quand cette ligne coïncidera avec le méridien, la pendule marquera $0^h\ 0'\ 0''$ ou bien $24^h\ 0'\ 0''$, en supposant que l'aiguille des heures parcourt 24 divisions dans l'intervalle d'un retour à l'autre d'une même étoile au méridien.

Il faut bien observer que la pendule astrono-

mique ne s'accordera à marquer midi en même temps que nos pendules ordinaires qu'une fois par an, à l'équinoxe du printemps; les jours suivans, elle avancera de plus en plus, et au bout d'un mois elle sera en avance de près de deux heures, au bout de trois mois, elle sera en avance de près de six heures, et ainsi de suite. Il arrivera de là que, quand nos pendules marqueront midi un mois après l'équinoxe de printemps, qui a lieu vers le 21 mars, la pendule astronomique marquera à-peu-près 2 heures, et le cercle horaire qui contient l'équinoxe fera avec le méridien un angle d'environ 30 degrés.

Quand on ne voudra qu'une estimation approchée, on pourra déterminer la direction du méridien, comme nous l'avons indiqué à la page 12; ou bien se placer de manière à avoir derrière soi la Polaire. Il ne faudra pas perdre de vue que le pôle est à 1° 1/2 environ de la polaire en allant de cette dernière étoile vers la plus petite étoile δ du carré de la grande Ourse.

Ce qui précède étant admis, supposons que nous soyons placés dans la direction du méridien, le 21 mars à midi, nous aurons devant nous le Soleil; et si sa lumière trop vive ne nous empêchait de voir à l'œil nu les astres qui parent le Ciel, nous apercevrions encore au méridien α et β de Pégase, et β de Cassiopée vers le zénith. Or, comme l'observation en a été faite pour la

première fois en 1635, par Morin, nous pouvons les apercevoir effectivement soit au moyen de fortes lunettes, soit à travers de tubes forts alongés. C'est le premier de ces moyens que l'on emploie dans les observatoires, et l'on reconnaît ainsi que le disque du Soleil se trouve dans l'équateur sur le cercle horaire qui passe près des étoiles dont nous avons parlé précédemment.

La constellation des *Poissons*, dans laquelle est alors le Soleil, présente une longue file de petites étoiles qui forme le *cordon* auquel sont attachés les deux Poissons; l'un des Poissons est placé le long du côté méridional du carré de Pégase, et l'autre à l'orient du même carré.

Deux heures après, cette constellation s'est déjà portée vers l'occident, et le *Bélier* vient se présenter au méridien. Le Bélier offre deux étoiles de troisième grandeur, assez voisines l'une de l'autre, dont la plus occidentale β est accompagnée d'une plus petite étoile de quatrième grandeur, appelée γ, ou la *première étoile* du Bélier, parce qu'elle était autrefois la plus voisine du point équinoxial. Nous verrons bientôt que le Soleil paraît alternativement plus haut et plus bas que l'équateur, et que cet astre ne se trouve que deux fois par an dans le plan même de l'équateur, une fois vers le 21 mars et une fois encore environ six mois après. La première position se nomme le point équinoxal ou l'*équinoxe* de prin-

temps, l'autre est l'équinoxe d'automne. Or, le point équinoxial se déplace très-lentement dans le Ciel (*voyez* Chap. 5, 3e Partie.), et autrefois il se trouvait dans le Bélier.

A côté du Bélier, et vers le nord-est, est située la *Mouche*, qui présente trois petites étoiles; vers le nord et plus bas que la Ceinture d'Andromède, on voit le *Triangle*, également formé de trois étoiles moins rapprochées que les précédentes; vers l'ouest, un des Poissons; et enfin, vers le sud, la *Baleine*, constellation immense, qui occupe une grande partie du ciel. La ligne menée de la Ceinture d'Andromède entre α et β du Bélier, va passer sur l'étoile α de la *mâchoire* de la Baleine, étoile de 2e grandeur, qui fait partie d'un parallélogramme. La base $\alpha\ \gamma$ prolongée passe sur la changeante o, puis près d'un grand quadrilatère de la Baleine, formé de quatre étoiles de 3e grandeur, et enfin sur la *queue* β, qui est une étoile de 2e grandeur. Cette même droite $\alpha\ \gamma$, prolongée plus avant encore, passe près de *Fomalhaut*, étoile de 1re grandeur du *Poisson austral* qui s'élève peu sur l'horizon de Paris.

Continuons à examiner l'état du Ciel, le 21 mars, aux différentes heures du jour. A midi, avons nous dit, le Soleil se présente au méridien en même temps que l'Équinoxe; à 2 heures, on y voit le Bélier.

A 4 heures, le *Taureau* se présente au mé-

ridien, précédé par les *Pléiades* ou la *Poussinière*, groupe très-remarquable d'étoiles ramassées au-dessous de Persée. L'*Œil du Taureau* ou *Aldébaran*, étoile rougeâtre et de 1re grandeur, termine la branche inférieure d'un V oblique formé de 5 étoiles disposées sur le front du Taureau : ce sont les *Hyades*. Au-dessous du Taureau et du Cocher brille *Orion*, la plus belle constellation du Ciel. Elle se compose d'un grand rectangle; aux extrémités d'une des diagonales sont deux étoiles de 1re grandeur α *Adaher* et β *Rigel*; et aux extrémités de l'autre diagonale sont γ et $\varkappa$, deux étoiles de 2e grandeur; α et γ, vers le nord, forment les *épaules* d'Orion, β est sur le *pied* gauche. Au centre du rectangle, trois étoiles de 2e grandeur très-rapprochées forment la *ceinture*, les *Trois Rois*, le *Rateau*, ou bien encore le *bâton de Jacob*. Plus bas, une traînée d'étoiles dessinent l'*épée*; et le *bouclier*, formé d'une autre file de petites étoiles, s'élève entre l'épaule occidentale γ et Aldébaran. Près de Rigel, s'étend du côté de la Baleine et vers le sud, une suite d'étoiles de 3e et 4e grandeurs, c'est l'*Éridan*. Un quadrilatère de quatre étoiles de 3e grandeur dessine le *lièvre*, au-dessous d'Orion et à droite du *grand Chien*, autre quadrilatère plus grand, adjacent à un triangle. On y remarque *Sirius*, la plus belle étoile du Ciel; avec cinq étoiles de 2e grandeur. Sirius forme avec Adaher d'Orion et avec α

Procyon du *petit Chien* un triangle équilatéral. β est une autre étoile remarquable du petit Chien, qui se trouve avec α sur une droite dirigée vers γ, aux pieds des Gémeaux.

Cette partie du Ciel est sans contredit celle qui mérite le plus de fixer l'attention par le grand nombre d'étoiles de 1re et 2e grandeurs qu'elle renferme. La constellation d'Orion surtout efface toutes les autres par son éclat ; elle a été chantée plusieurs fois par les poètes ; Nieuwland lui a consacré une ode, dont voici à-peu-près le commencement :

Qui donc sur l'Océan, dans l'ombre et le silence,
Elève avec orgueil son front majestueux;
Et bravant de Phébé le disque lumineux,
Devant son trône même insulte à sa puissance ?

C'est toi, noble Orion : tes feux étincelans
Des soleils de la nuit effacent la lumière,
Comme le Dieu du jour, entrant dans la carrière,
Efface de Phébé les rayons pâlissans.

Sur le trône des airs fais briller ta couronne;
Viens, héros indompté, régner sur nos climats :
Lève-toi ! que nos yeux, attachés à tes pas,
Contemplent à loisir l'éclat qui t'environne.

Perçant des sombres mers les nocturnes brouillards,
Sous l'orgueilleux fardeau de ta pesante armure,
Je te vois déployer ta superbe ceinture,
Et de l'homme étonné commander les regards.

Près de l'astre qu'à peine un faible éclat décèle,
Le rougeâtre Adaher, par une agrafe d'or
Soutient ton large glaive, et plus brillant encor,
Rigel avec orgueil à tes pieds étincelle.

Le Taureau loin de toi récule épouvanté :
Il roule avec effroi sa prunelle sanglante;
Tandis que vers le nord s'enfuit l'Ourse tremblante
Aux éclairs menaçans de ton glaive irrité.

Vers 6 heures, on voit au méridien la constellation des Gémeaux, dont nous avons déjà parlé; et vers 8 heures, celle du *Cancer* ou *l'Écrévisse*, qui est à peine visible. A 10 heures, le *Lion* se présente au méridien; c'est un grand trapèze très-remarquable, situé dans la direction de la Polaire et des gardes de la grande Ourse. On y compte deux étoiles de 2e grandeur sur la petite base et deux autres de 1re grandeur sur le côté opposé; *Régulus* ou le *cœur* du Lion, et la *queue* qui est plus à l'est. Le *Petit Lion* est plus vers le nord, au-dessous de la grande Ourse.

La *Vierge*, qui se présente ensuite vers minuit, lorsque déjà les Poissons sont à leur passage inférieur, occupe un grand espace dans le Ciel, sans être une constellation bien remarquable. Elle renferme cependant une belle étoile de 1re grandeur, l'*épi de la Vierge* ou α sur la diagonale α γ du carré de la grande Ourse. On y remarque aussi cinq étoiles de 3e grandeur formant

un V ouvert. Au nord de la Vierge, l'on trouve la *chevelure de Bérénice*, petit groupe blanchâtre d'étoiles; et vers le sud, la *Coupe* et le *Corbeau*, et plus bas encore l'*Hydre,* qui s'étend jusque sous le Lion et le Cancer. A 14 heures, ou bien 2 heures après minuit, la *Balance* atteint sa plus grande hauteur : elle se compose principalement de deux étoiles de 2e grandeur α et β, qui sont les *bassins*. Ces deux étoiles forment un carré avec deux étoiles de 3e grandeur.

Le *bassin austral* de la Balance est entre l'*épi* de la Vierge et *Antarès* ou le *cœur du Scorpion :* ces trois étoiles, ainsi que *Régulus*, sont très-voisines de l'écliptique. On distingue encore dans le Scorpion une suite d'étoiles en forme d'arc, dont l'une β est de 2e grandeur; la *queue* se prolonge vers l'horizon.

Deux heures après le Scorpion, et vers 18 heures, l'on voit arriver au méridien le *Sagittaire*. Cette constellation contient plusieurs étoiles de 3e grandeur disposées en trapèze, dont deux étoiles sont à leur tour sur le côté d'un autre trapèze plus petit. L'*arc* et la *flèche*, indiqués par deux files d'étoiles, sont dirigés vers le Scorpion.

La ligne menée de la Lyre à l'Aigle rencontre plus bas que l'équateur deux étoiles de 3e grandeur qui sont sur la *tête du Capricorne*. Cette constellation se présente au méridien à 20 heures, et deux heures avant le *Verseau*, situé au-dessous

du carré de Pégase. En allant du Dauphin à Fomalhaut, on passe d'abord par le *petit Cheval*, trapèze de quatre étoiles de quatrième grandeur, et puis entre les deux épaules α β du Verseau : ces deux étoiles forment avec γ un triangle très-aplati ; la base se prolonge en une file d'étoiles vers le Capricorne. A l'orient, une traînée d'étoiles qui se dirige vers le sud indique l'eau qui s'échappe de l'urne.

Enfin, lorsque le lendemain la pendule marquera encore 24 h., la même constellation des Poissons se représentera encore au méridien; mais elle ne sera pas tout-à-fait à la même place, si l'on a compté le temps d'après les montres ordinaires ; car nous avons dejà fait la remarque que nos montres ne marchaient pas d'accord avec les pendules astronomiques ; celles-ci étant réglées d'après le cours des étoiles, les autres d'après le cours du Soleil, qui a dans le Ciel un mouvement propre, dont il sera parlé plus loin. Il arrive de là que si l'on ne consulte que les pendules astronomiques, il sera toujours 24 h. quand les Poissons seront à leur passage supérieur, et 12 h. quand ils seront au passage inférieur. Mais si nous consultons nos montres, un mois après le 21 mars, les Poissons ne se présenteront plus au méridien avec le Soleil, on y verra le Bélier : les Poissons seront déjà à environ 30 degrés vers l'occident, et la pendule astronomique marquera deux heures. Nos mon-

tres seront donc en retard d'environ deux heures en un mois, ou d'une heure par demi-mois. On pourra, quand on ne cherche qu'une valeur approchée, bien suffisante pour reconnaitre l'état du Ciel, compter une heure de retard par demi-mois sur les pendules astronomiques, et cela à partir du 21 mars. Par exemple, quand une montre marquerait midi le 21 avril, on pourrait dire que la pendule astronomique indique 2 heures environ, et que l'on a conséquemment au méridien et dans le voisinage de l'équateur la constellation du Bélier. Les douze constellations qui se présentent tour-à-tour, vers midi, au méridien et dans le voisinage de l'équateur, ont été nommées *zodiacales*. Elles étaient très-connues des anciens; leurs noms sont exprimés d'une manière très-concise dans ces deux vers latins, qui indiquent d'ailleurs l'ordre dans lequel elles se présentent (1) :

Sunt Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo,
Libraque, Scorpius, Arcitenens, Caper, Amphora, Pisces.

On voit, d'après ce qui précède, qu'à partir du mois d'avril, le 21 de chaque mois, lorsque nos montres marquent midi, nous avons successivement à notre méridien ces différentes constellations, en commençant par le Bélier. Prenons encore un

(1) Nous avons supposé les douze constellations zodiacales de même étendue, ce qui n'est pourtant pas; il est bon de prévenir aussi qu'il ne faut pas confondre ces constellations avec les signes du zodiaque qui portent le même nom, comme nous le verrons, liv. III, chap. 5.

core un exemple : veut-on savoir quel sera l'état du Ciel vers le milieu du mois de juin et à dix heures du soir? du 21 avril au 21 juin on comptera deux mois. Le 21 juin, à midi, la constellation des Gémeaux passera donc au méridien, et dix heures plus tard, la constellation du Scorpion. Nous avons compté d'abord deux constellations depuis le Bélier jusqu'aux Gémeaux, à cause de la différence des deux mois depuis avril jnsqu'au mois de juin; et puis cinq constellations depuis les Gémeaux jusqu'au Scorpion, à cause des dix heures, car chaque constellation met à-peu-près deux heures à passer au méridien; de sorte que vers 10 heures du soir et au milieu de juin, le Scorpion commencerait à passer au méridien après la Balance.

Le tableau donné à la page 26, fait encore connaître l'instant du passage des étoiles de première grandeur en temps sidéral. Par exemple, Aldébaran ou l'œil du Taureau passe au méridien 4h 26' après le point équinoxial, situé dans le signe des Poissons. Quand on connaîtra donc chaque jour l'instant du passage du point équinoxial, par la table précédente, on reconnaîtra à quelle heure passeront les étoiles principales, puisque les intervalles de temps s'y trouvent indiqués.

Les dénominations des constellations tirent évidemment leur origine des travaux, des usages et des croyances religieuses des anciens peuples.

Voulait-on désigner, par exemple, la saison des pluies et des tempêtes, on le faisait en annonçant le retour des constellations qui paraissent alors le soir. Ainsi les Pléiades, les Hyades, et plus souvent encore l'orageux Orion (1), marquent le retour des sombres nuits d'hiver, comme on le voit souvent dans Virgile et dans ces vers d'Hésiode :

Que ton frêle vaisseau sur la mer orageuse
N'aille point affronter la saison dangereuse
Où l'humide Orion, sous un ciel nébuleux,
Terrible, et précédé des vents tumultueux,
S'élance sur les pas des Pléiades tremblantes.

Voulait-on indiquer la saison des chaleurs, lorsque le Soleil, dans toute sa force, entre dans la constellation du Lion, on représentait cet astre précédé dans sa marche par Sirius ou la Canicule :

Déjà le Chien brûlant dont l'Inde est dévorée
Vomissait tous ses feux sur la plaine altérée;
Déjà l'ardent Midi desséchant les ruisseaux,
Jusqu'au fond de leur lit avait pompé les eaux. (2)

DELILLE.

La Balance indiquait l'époque de l'année où la durée de la nuit est égale à celle du jour. Le

(1) Assurgens nimbosus Orion. VIRG.

(2) Jam rapidus torrens sitientes Sirius Indos
Ardebat cœlo, etc. GÉORG., liv. IV.

Scorpion, par son lever, annonçait ensuite l'époque des maladies et des fléaux destructeurs. Nous avons déjà eu occasion de voir comment Phaéton ou le Cocher, qui se couche en même temps que l'Éridan, passait pour avoir été précipité dans ce fleuve, à la vue du Scorpion qui se lève alors dans la partie opposée du Ciel. Les allégories relatives aux constellations du zodiaque ne s'expliquent pas avec moins de facilité ; mais nous nous proposons d'en parler plus particulièrement quand nous aurons fait voir que le Soleil, par son mouvement apparent, les parcourt successivement dans l'espace d'une année. Nous engageons, du reste, les lecteurs qui désireraient de plus amples renseignemens sur l'origine et l'explication des constellations, à recourir aux ouvrages de Dupuis et des autres savans qui ont traité de cette matière.

L'astronomie, ainsi que les autres connaissances humaines, a vu s'élever des imposteurs qui en ont abusé pour tirer parti de la crédulité et de l'ignorance. On supposait les destinées humaines soumises à l'influence de certains astres, et l'on prétendait expliquer l'avenir et pouvoir deviner les événemens futurs. On observait surtout attentivement les astres qui se présentaient au méridien lors d'un événement important, la constellation zodiacale qui se levait en même temps que ses *paranatellons ;* c'est ainsi qu'on

nommait les constellations qui bordaient l'horizon en même temps qu'un signe du zodiaque; enfin, on observait le *lever* et le *coucher héliaque* des étoiles, c'est-à-dire les étoiles qui se levaient ou se couchaient en même temps que le Soleil (1). C'est ainsi qu'on tirait l'*horoscope* d'un enfant à l'instant de sa naissance. Cette science chimérique que l'on s'était créée se nommait *astrologie*. Cependant, il faut l'avouer, plusieurs astronomes s'en sont occupés, pleinement persuadés de sa réalité; et leurs recherches, dirigées vers un but futile, nous ont valu d'utiles découvertes, comme l'exemple s'en est présenté plus d'une fois dans l'histoire des sciences. L'astrologie paraît avoir été cultivée particulièrement chez les Chaldéens et les Égyptiens; elle s'introduisit ensuite à Rome, malgré les décrets nombreux du sénat : les Grecs seuls et les astronomes de l'école d'Alexandrie paraissent en avoir fait peu de cas. On retrouve encore l'astrologie chez les Arabes, et surtout en Europe, pendant tout le moyen âge. A la régénération des sciences, les plus grands esprits en étaient encore imbus : Cardan, mathématicien habile pour son temps, osa déduire, de la configuration des astres au moment de la naissance de Jésus-Christ, les

(1) On dit aussi le lever ou le coucher *cosmique* ou *achronique* d'un astre, selon qu'il a lieu le matin ou le soir.

divers événemens de sa vie. Et ce qui pourra étonner, c'est qu'il le fit impunément dans le pays où Galilée fut enfermé à l'inquisition, quelque temps après, pour avoir été le défenseur de la vérité. On doit regretter que plusieurs grands hommes, sacrifiant aux idées reçues de leur temps, se soient occupés de pareilles chimères. Le système de Copernic et les découvertes des modernes, en étendant le domaine de l'astronomie, ont enfin fait tomber l'astrologie dans l'avilissement dont elle n'aurait jamais dû sortir. Aujourd'hui le mépris public ferait justice des imposteurs qui s'en serviraient encore : c'est un nouveau bienfait que l'on doit à la propagation des lumières qui tendent peu à peu à éclairer les hommes et à les délivrer des erreurs et des préjugés.

CHAPITRE IV.

Des Étoiles.

Après avoir parlé de l'aspect général du Ciel et des constellations nombreuses qu'on a imaginées pour en faciliter la description, nous allons nous occuper en particulier des étoiles et de leurs distances probables.

L'expérience, sans aucune étude préalable en

optique, nous apprend à juger de la distance d'un objet *a b* par l'angle (*fig.* 2) plus ou moins grand *a o b*, sous lequel on le voit. Cet angle, qu'on nomme *angle visuel*, est formé par les deux rayons qui vont de l'œil aux extrémités de l'objet. Une personne, par exemple, à vingt pas de nous est vue sous un certain angle visuel qui diminue à mesure que la personne s'éloigne, et qui pourra devenir à-peu-près nul, si la personne s'éloigne suffisamment. Supposons encore que nous nous élevions en ballon ; à mesure que nous nous éloignerons de la surface de la Terre, nous verrons décroître l'étendue des villes; et une contrée entière pourra nous paraître très-petite, si nous continuons à nous éloigner. Imaginons maintenant que nous puissions nous transporter jusque sur l'étoile fixe la plus voisine, nous verrions de là, sous un angle à-peu-près nul, une étendue de 69 millions de lieues : cette distance est telle que le Soleil, la Terre et la Lune seraient vus comme s'ils ne formaient qu'un point dans l'espace.

Ce résultat singulier peut étonner d'abord et inspirer quelque doute sur son exactitude. Essayons cependant de montrer comment on y est parvenu, et l'on aura une nouvelle preuve des ressources immenses que l'homme trouve dans son génie, en s'aidant des connaissances mathématiques. Nous verrons bientôt que la Terre

tourne autour du Soleil dans une courbe à-peu-près circulaire qui a environ 69 millions de lieues de diamètre. Or, quand on observe une même étoile successivement aux deux extrémités de ce diamètre, les deux rayons visuels sont sensiblement parallèles, c'est-à-dire que, prolongés jusqu'à l'astre, ils forment un angle inappréciable. Par exemple, si *a b* (*fig.* 2) est ce diamètre, et le point *o* l'étoile fixe, on trouve que les deux rayons *a o* et *b o*, menés à l'astre dans les deux positions successives de la Terre, sont à-peu-près parallèles, ou bien que l'angle *a o b* est nul. La moitié de l'angle *a o b*, c'est-à-dire, l'angle sous lequel on verrait de l'étoile la distance du Soleil à la Terre, se nomme la *parallaxe annuelle* ou la parallaxe de l'*orbe terrestre*. Or, les astronomes ne sont pas d'accord sur la question de savoir si les étoiles fixes ont une parallaxe ou non. Quelques-uns prétendent que des étoiles telles que Sirius et la Lyre ont une parallaxe annuelle qui s'élève jusqu'à 2" : si nous admettons cette hypothèse, qui tend à rendre leur distance la plus petite possible, car on peut compter sur une exactitude d'à-peu-près deux secondes, nous pourrons estimer l'éloignement de ces étoiles. Le calcul se réduit en effet à chercher quels sont les côtés *a o* et *o b* d'un triangle isoscèle, dont la base est de 69 millions de lieues, et l'angle opposé de 4 secondes. On trouve facilement par la

trigonométrie, que la distance $a\ o$ doit être à-peu-près de 3,450 billions de lieues, c'est-à-dire, que l'*étoile fixe la plus rapprochée serait encore environ* 100,000 *fois plus éloignée de nous que le Soleil.*

On ne peut se faire une idée un peu exacte d'une distance aussi prodigieuse, qu'en prenant d'autres mesures que celles que nous employons sur la terre. La lumière nous arrive du Soleil en 8' 13"; elle parcourt donc 4 millions de lieues environ par minute. Il résulterait delà que pour arriver de Sirius ou de la Lyre, c'est-à-dire, d'une étoile au moins cent mille fois plus éloignée que le Soleil, la lumière devrait employer cent mille fois plus de temps, ou bien environ un an et demi. Nous avons admis pour les calculs précédens l'hypothèse qui rapproche le plus les étoiles de nous ; ainsi nous pouvons assurer qu'en deçà de ces limites il n'existe point d'étoiles fixes, mais il peut en exister de beaucoup plus éloignées. Nous pouvons supposer sans absurdité qu'il existe des étoiles visibles dix et même cent fois plus éloignées que Sirius, pour lesquelles la lumière emploierait cent cinquante ans à venir jusqu'à nous; de sorte que si l'homme a été créé en même temps que les étoiles qui brillent au firmament, il n'a pu voir Sirius et la Lyre, qu'au moins un an et demi après sa création, et d'autres étoiles seulement cent cinquante ans plus tard. Il

existe peut-être des étoiles qui, depuis la création, ne sont point encore devenues visibles pour nous, malgré la vitesse immense de la lumière. Il suffirait en effet, en comptant six mille ans depuis la création, de supposer une étoile quatre ou cinq mille fois plus éloignée que Sirius. Il résulterait aussi delà qu'une étoile pourrait s'éteindre, et qu'il faudrait plus d'un an et demi pour s'en apercevoir. Nous avons pris pour mesure la vitesse de la lumière; qu'aurions-nous obtenu si nous avions mesuré ces distances effrayantes par toute autre vitesse, par exemple, par celle d'un boulet de canon qui parcourt cependant plus de sept lieues par minute? Il aurait fallu près d'un million d'années pour arriver à l'étoile la plus voisine. Nous le répétons, cette distance est effrayante, et l'imagination a peine à la concevoir.

Les étoiles nous paraissent de grandeurs différentes; cependant, observées aux meilleurs télescopes, elles ne présentent point de diamètre apparent. Toutes s'offrent à nos regards comme des points brillans : leurs diamètres pourraient avoir même des milliers de lieues, comme nous l'avons vu précédemment, sans qu'elles se présentassent autrement; et en effet, à la même distance, un cheveu suffirait pour cacher aux yeux d'un habitant de Sirius, la Terre, le Soleil, et l'espace qui sépare ces deux astres.

Deux étoiles qui semblent voisines, doivent

trouver à des distances prodigieuses, par cela seul qu'on les distingue l'une de l'autre. Il est assez probable que tous ces corps immenses qui peuplent l'espace, sont autant de soleils semblables au nôtre. L'analogie nous porte naturellement à l'admettre la pluralité des mondes, et à supposer que tous ces fanaux qui brillent dans l'espace ne sont pas destinés seulement à éclairer notre globe, et à parer la voûte céleste pendant l'absence de l'astre qui nous dispense la lumière.

Nous avons déjà dit que les étoiles fixes conservent toujours leurs mêmes positions respectives, et qu'elles diffèrent en cela des planètes qui ont un mouvement propre. On peut ajouter à ce caractère qui les distingue, que les étoiles vues au télescope n'ont point de diamètre apparent comme les planètes. D'ailleurs, la lumière des étoiles est *scintillante*, et celle des planètes ne l'est point. L'explication de ce phénomène appartient plus particulièrement à l'optique; c'est pourquoi nous nous contenterons de l'indiquer ici.

La formation de bons catalogues d'étoiles et une observation suivie du Ciel ont permis aux astronomes d'observer des changemens parmi les étoiles fixes, qui n'auraient point été aperçus autrement. Nous allons faire connaître successivement les principaux.

Déjà nous avons vu que du temps d'Hipparque une étoile très-brillante avait disparu tout-à-

coup, sans que l'on pût soupçonner la cause d'un pareil phénomène. En 389, une étoile nouvelle fut aperçue dans la constellation de l'Aigle, et disparut après avoir brillé pendant trois semaines d'un éclat très-vif. Le même phénomène se reproduisit en 1572, dans la constellation de Cassiopée : l'étoile qui y parut tout-à-coup fut observée presque en même temps par plusieurs astronomes; Tycho l'étudia avec le plus grand soin jusqu'au mois de mars de l'année 1574, époque à laquelle elle disparut après avoir présenté différentes couleurs. Enfin Kepler, en 1604, eut occasion d'observer encore un astre semblable près du pied du Serpentaire; cet astre brilla également comme une étoile de première grandeur pendant près de quinze mois. Quelques astronomes ont attribué ces étranges apparitions à de vastes incendies qui auraient dévoré des corps célestes qui n'avaient point été aperçus d'abord.

Les étoiles *changeantes* nous offrent un spectacle non moins digne d'attention : ce sont des étoiles qui ont des retours périodiques dans l'intensité de leur lumière; il en est même qui deviennent pendant quelque temps invisibles; ce qui a fait croire que les étoiles précédentes pouvaient bien n'être que des changeantes à longue période. La première observation d'une changeante paraît dater de l'année 1600. Une étoile de la poitrine du

Cygne fut remarquée vers cette époque, et présenta plusieurs disparitions et apparitions successives qui fixèrent l'attention des astronomes : on reconnut enfin qu'elle avait une période de près de quinze ans, et qu'elle était environ dix ans apparente et cinq ans invisible. Depuis on a observé un assez grand nombre d'autres étoiles changeantes, dont nous ferons connaître quelques-unes. O du cou de la Baleine paraît de seconde grandeur pendant près de quinze jours, puis son éclat s'affaiblit et s'efface pour reparaître encore au bout de trois cent trente-trois jours environ; β de la queue de la Baleine devient au contraire continuellement plus brillante. On trouve aussi dans le Cygne une seconde changeante ξ, dans le cou près du bec; sa période est de près de trois cent quatre-vingt dix-sept jours. Cette étoile n'est pas très-apparente, puisqu'elle ne dépasse pas la 5e grandeur. Maraldi, en 1704, a découvert dans l'Hydre une étoile semblable aux précédentes : dans son plus grand éclat, elle est de 4e grandeur; sa période entière est de deux ans, sur lesquels elle reste près de vingt mois sans paraître. Plusieurs étoiles ont des périodes beaucoup moins longues; ainsi δ de Céphée devient au plus de 4e grandeur au bout de cinq jours; β de la Lyre devient de 3e grandeur tous les six jours; μ d'Antinoüs est de 4e grandeur au bout de sept. Algol, ou la tête de Méduse, passe

de la seconde à la 3e grandeur dans l'espace de soixante-neuf heures. On a observé encore que β des Gémeaux est maintenant plus brillante qu'α, et que la seconde de l'Aigle était autrefois la troisième. Enfin, il est des étoiles qui présentent diverses nuances de couleurs, indépendantes de la scintillation, et dont on a peine à deviner la cause. On a cherché à expliquer la nature des changeantes de différentes manières : les uns ont supposé l'interposition de corps opaques qui interceptaient la lumière ; d'autres ont supposé l'existence de grandes taches à la surface des étoiles ; d'autres enfin pensent que les étoiles pourraient bien être, comme les corps qui composent notre système planétaire, des sphéroïdes aplatis ; quelquefois même des corps lenticulaires qui s'offrent à nous de différens côtés.

Il est une classe d'étoiles qui a été étudiée avec le plus grand soin par le célèbre Herschell, c'est celle des étoiles *doubles*, *triples* et *multiples*. Cet astronome en a observé un très-grand nombre qui présentent souvent les variétés les plus singulières. Il en est de blanches plus ou moins éclatantes, de rouges, de vertes, de bleues, de roses, de gris cendré, d'obscures, et d'autres qui sont tout-à-fait ternes. Ces observations ont été continuées par MM. Struve, South et par M. Herschell fils, qui marche sur les pas de son illustre père. E d'Hercule est une étoile double

dont la grande paraît rouge et la petite bleue ; ε du Bouvier présente le même phénomène : au pied de devant de la Licorne est une étoile triple ; l'étoile douze du Lynx est également triple. ρ d'Ophiuchus paraît avoir un mouvement fort bizarre : son mouvement angulaire est de 6° à 7° par an. Les deux étoiles ξ de la grande Ourse tourbillonnent aussi de même que l'étoile triple du Lynx. MM. South et Herschell ont trouvé que deux de ces astres qui étaient très-voisins, ont éprouvé un changement considérable dans leurs distances, tandis que le plus éloigné des trois n'a pas paru sensiblement déplacé. Le mouvement angulaire des premiers est rétrograde, et a été de 22°, 74 en 40,8 ans ; la révolution complète est de six cent cinquante-six ans, et dans cinquante-sept ans les trois étoiles seront en ligne droite.

Quelques étoiles, telles que γ du Lion, γ et δ de la Vierge, ε et ξ du Bouvier, 7 du Serpent, η de Cassiopée, ς des Gémeaux, et la soixante-unième du Cygne, semblent tourner autour d'un centre commun de gravité, et faire dans l'espace un système à part.

Les *nébuleuses* méritent à leur tour de fixer notre attention : ce sont des étoiles faibles et obscures, ou des blancheurs irrégulières que l'on aperçoit dans différentes parties du Ciel. On les a divisés en trois classes : on a rangé dans la

première celles qui ne paraissent telles que parce qu'elles sont formées d'amas d'étoiles que l'œil ne peut distinguer : de ce nombre sont la nébuleuse du Cancer, *præsepe ;* celle qui est à l'extrémité de la main droite de Persée; une autre vers la pointe de l'aiguillon du Scorpion; une quatrième, près de l'œil droit du Sagittaire, une cinquième, dans la tête d'Orion. Toutes ces nébuleuses ont été indiquées par Ptolémée ; Galilée, après l'invention du télescope, distingua les étoiles qui les formaient, et en compta jusqu'à trente-huit dans la nébuleuse du Cancer. On doit ajouter aux nébuleuses précédentes plusieurs autres encore, telles que la troisième au-dessus d'Algol, la seconde au-dessus du Sagittaire, etc. La seconde classe comprend celles qui ne présentent qu'une nébulosité ou nuage blanchâtre, sans apparence de centre lumineux, et sans que des lunettes ordinaires discernent de petites étoiles. Les principales sont la grande nébuleuse d'Andromède, celle qui est sur l'épée d'Orion, celle que Boulliau découvrit dans la ceinture d'Andromède, etc. Cette dernière présente une lumière pâle, d'où part un rayon lumineux dirigé vers le nord-est. Enfin la dernière classe doit comprendre les nébuleuses qui restent encore telles, malgré le grossissement des meilleures lunettes. Herschell en a reconnu plusieurs qu'il appelle nébuleuses planétaires : on

doit aussi à cet astronome des notions plus exactes sur la *voie lactée*. Il a reconnu, selon la conjecture de Démocrite, que sa blancheur était due à la lumière d'étoiles amoncelées.

C'est peut-être ici le lieu de parler de l'opinion d'Herschel, sur la nature et la formation des nébuleuses : en remontant à des temps infiniment reculés, il suppose que le Ciel était à-peu-près également parsemé d'étoiles de grandeurs différentes ; et qu'en plusieurs points, des étoiles supérieures en force ont condensé en quelque sorte autour d'elles les plus voisines ; que, prenant par là même une nouvelle force attractive, elles continueront d'attirer vers un centre commun, et par un mouvement fort lent à la vérité, les étoiles qui ne se trouvent pas contrebalancées par quelque pouvoir central voisin. M. Herschel a remarqué, à l'appui de cette conjecture, que dans le voisinage des nébulosités il se trouve communément beaucoup moins d'étoiles. Il paraîtrait que notre Soleil lui-même fait partie d'une nébuleuse encore très-informe, qui est la voie lactée. De pareilles conjectures doivent du moins nous donner une idée bien désespérante de notre petitesse et de l'immensité de l'univers. Un observateur, placé comme nous dans ce que nous nommons une petite nébuleuse à peine perceptible, verrait donc à son tour notre Terre, notre Soleil et toutes les étoiles immensément éloignées, qui

composent la voie lactée, comme une petite tache blanche dans un endroit fort circonscrit du Ciel.

Nous ne terminerons pas ce qui concerne les étoiles, sans dire quelques mots des faibles déplacemens que l'on a reconnus dans quelques étoiles fixes, déplacemens qui occupent beaucoup les astronomes actuels. Par exemple, Arcturus s'avance continuellement vers le midi ; la 61ᵉ du Cygne décrit un arc d'environ 6" par an ; une des étoiles de la grande Ourse parcourt près de 2" et demie. Sirius, la Lyre, Aldébaran et plusieurs autres étoiles subissent des déplacemens semblables. Quoique ces variations soient petites en apparence, cependant, eu égard à l'énorme distance des étoiles, on en jugera tout autrement.

Enfin on a reconnu que, par la suite des temps, la constellation d'Hercule semble se dilater, ainsi que les constellations qui l'avoisinent, tandis que les constellations diamétralement opposées dans le Ciel diminuent de grandeur : ce qui porterait à croire que notre Terre, en même temps que le Soleil, se déplacent insensiblement, et se portent du côté d'Hercule. De pareils déplacemens ne peuvent devenir sensibles que par la suite des siècles, à cause de l'immense éloignement des étoiles. La vitesse du Soleil, dans une pareille

translation, pourrait d'ailleurs être considérable, sans que le mouvement pût être soumis au calcul, parce qu'on n'a pas encore pu réunir une assez longue suite d'observations.

LIVRE SECOND.

DU SYSTÈME PLANÉTAIRE.

Nous nous sommes occupés, dans le livre précédent, de la connaissance des astres qui sont si prodigieusement éloignés, qu'ils ne paraissent pas avoir de mouvement sensible par rapport à nous. Nous allons considérer maintenant les corps plus rapprochés que nous voyons se déplacer par un mouvement propre, et que l'on a nommés, par ce motif, corps *planétaires* (1), pour les distinguer des premiers, désignés sous le nom d'étoiles *fixes*. Ces corps, à cause de leur voisinage, méritent toute notre attention ; ils circulent d'ailleurs, comme notre Terre, autour du Soleil, et forment dans l'espace un assemblage ou *système* assujetti à des lois déterminées que le génie de l'homme est parvenu à découvrir.

Afin de procéder avec ordre et clarté dans l'exposition des phénomènes dont nous allons nous occuper, nous commencerons par examiner la forme, la grandeur et la position de notre

(1) Du mot grec πλανομαι, j'erre.

Terre dans l'espace. L'astronome, en effet, s'il ne veut s'exposer à se tromper à chaque instant, doit, avant de commencer ses observations, connaître parfaitement la position de son observatoire. C'est donc à cette étude que nous apporterons nos premiers soins, pour nous élever ensuite à la connaissance des phénomènes qui se passent autour de nous.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA TERRE ♁ (1).

De la forme de la Terre.

Lorsqu'on se trouve placé au milieu d'une vaste plaine ou sur le sommet d'une montagne élevée, on n'aperçoit autour de soi qu'un plan immense dont on ne peut déterminer l'étendue. Telle a été l'observation des premiers hommes qui, séduits par les apparences, ont dû en conclure que la Terre n'offrait qu'une surface plane.

Mais bientôt, en se transportant d'un pays dans un autre, ils auront observé que lorsqu'on perd la Terre de vue sur le pont d'un navire, on l'aperçoit encore du haut des mâts ; ils auront remarqué que des astres, visibles dans les lieux

(1) La Terre ou Cybèle, est représentée par ce signe.

qu'ils venaient de quitter, ne l'étaient plus dans ceux où ils se trouvaient, tandis qu'ils en distinguaient de nouveaux qu'ils ne connaissaient point encore. On ne fut donc pas long-temps à s'apercevoir qu'on s'était trompé en considérant la Terre comme offrant partout une surface plane. Aussi l'histoire nous apprend que les peuples de la plus haute antiquité soupçonnaient déjà que la Terre avait la figure d'un globe isolé de toutes parts dans l'espace, et environné par le Ciel.

Depuis que l'on connaît la cause des éclipses de Lune, depuis qu'on sait qu'elles sont produites par l'ombre de la Terre, qui se dessine circulairement sur le disque de cet astre, on a une nouvelle preuve de la rondeur de la Terre, et de son isolement dans l'espace; enfin on a eu une autre confirmation de la dernière hypothèse dans le voyage que Magellan fit, pour la première fois, autour du globe, en 1519.

On se tromperait cependant en considérant la Terre comme un corps parfaitement sphérique; car, indépendamment des montagnes, qui, à la vérité, n'offrent que de légères aspérités à sa surface en raison de sa grandeur, on a reconnu depuis qu'elle était faiblement aplatie vers les pôles, comme nous en aurons les preuves dans le troisième livre, en parlant de l'attraction. On a aussi reconnu que sa densité moyenne était à-peu-près quatre fois et demie celle de l'eau.

Quant à sa structure intérieure, on n'a pu obtenir encore que des résultats fort douteux. Il est remarquable que la température s'élève à mesure qu'on pénètre dans son intérieur, d'environ 1° ponr trente ou quarante mètres, tandis qu'elle s'abaisse, au contraire, en s'élevant sur les montagnes. M. *Fourier* a publié, sur les températures terrestres, des recherches d'un haut intérêt, qui forment un des plus beaux monumens élevés à la science.

De la sphère terrestre.

L'astronome a l'habitude de rapporter toutes ses observations au centre de la Terre ; et l'on conçoit en effet qu'il peut le faire sans erreur sensible, quand il s'agit des étoiles qui sont à des distances prodigieuses par rapport à nous. Quant aux planètes qui sont plus rapprochées, il faut avoir égard à une correction que nous indiquerons en parlant des parallaxes.

Nous supposerons donc que le centre de notre Terre se trouve au centre de la voûte étoilée qui nous entoure, et que conséquemment l'axe du monde passe par ce même centre. De cette manière, en dirigeant un rayon visuel du centre de la Terre vers le pôle nord, par exemple, ce rayon, prolongé de l'autre part, irait rencontrer le pôle sud. Il n'est pas même nécessaire que le

rayon soit mené du centre de la Terre, car tout autre mené, de sa surface, lui serait parallèle ; à-peu-près comme deux droites menées du centre et de la surface d'un grain de poussière à un point distant de plusieurs lieues, auraient des directions sensiblement parallèles dans l'espace.

D'après ce qui précède, l'axe du monde perce la surface de notre globe en deux points, qui sont les *pôles de la Terre*. L'équateur céleste qui lui est perpendiculaire, partage aussi notre globe en deux *hémisphères*, par un grand cercle, nommé l'*équateur terrestre*. Tous les points de ce cercle sont éloignés de 90° des deux pôles. Ainsi la Terre et la voûte étoilée, comme deux sphères concentriques, dont l'une est infinie par rapport à l'autre, ont même centre, même axe, et même plan pour équateur commun.

Tous les petits cercles du globe parallèles à l'équateur sont nommés, par les géographes, *parallèles*, comme en astronomie. On dit en général *grand* ou *petit* cercle, selon que le plan passe ou non par le centre de la Terre. Les *méridiens terrestres* sont de grands cercles perpendiculaires à l'équateur, et se coupent, comme les méridiens célestes, le long de l'axe de la Terre.

On détermine la position d'un lieu de la Terre par sa *latitude* ou sa distance à l'équateur, et par sa *longitude* ou sa distance à un méridien fixe, qu'on nomme *premier méridien*. On voit que c'est

absolument la même méthode qui nous a servi à déterminer la position d'une étoile dans le Ciel. Il faut cependant bien observer qu'en rapportant un astre à l'équateur céleste, on dit déclinaison et ascension droite ; les mots longitude et latitude, en astronomie, désignent les élémens qui servent à rapporter un point du Ciel à l'écliptique, comme nous en avons déjà fait l'observation.

On fait ordinairement passer le premier méridien par l'île de Fer, sur les côtes de l'Afrique ; et comme sa position n'est pas parfaitement déterminée, et que le méridien qui passe par l'observatoire de Paris forme avec lui un angle d'environ vingt degrés, on compte vingt degrés exactement à partir de ce dernier. Quelques peuples font passer le premier méridien par leur capitale ; il vaudrait peut-être mieux adopter un principe uniforme, comme le propose M. de Laplace, et s'accorder à compter les longitudes à partir d'un même méridien donné par la nature elle-même, pour le retrouver sûrement dans tous les temps.

Pour estimer la distance d'un lieu de la Terre à un autre, on est convenu d'employer pour unité de mesure une partie de l'arc d'un de ses grands cercles. On a partagé, par exemple, l'équateur en 360 degrés, et chaque degré en un certain nombre de parties égales, qu'on a nom

mées *lieues*. Les lieues marines sont de 20 au degré ; et les lieues géographiques de France de 25 au degré. D'après les nouvelles mesures, l'équateur a été partagé en 400 degrés, chaque degré en 10 myriamètres, et chaque myriamètre en 10,000 mètres. Il faudra donc, pour réduire les myriamètres en lieues géographiques, les multiplier par $\frac{9}{4}$; et réciproquement, pour réduire les lieues en myriamètres, il faut les multiplier par $\frac{4}{9}$.

Voici un tableau qui pourra donner une idée de la grandeur d'un degré, d'une minute, d'une seconde ou d'une tierce d'un grand cercle de la sphère :

	D'après l'anc. div.	*Nouv. div.*
1 degré vaut. . . .	111,111 mètres. . .	100,000 mètres.
1 minute.	1,852	1,000
1 seconde	31	10
1 tierce.	0,5. . . . , . .	0,1

D'après ce qui précède, celui qui voudrait faire le tour du globe, sans quitter un grand cercle, devrait parcourir 9,000 lieues géographiques, ou 4000 myriamètres. En partant de la connaissance d'une circonférence de grand cercle de notre Terre, on trouve que le rayon vaut environ 636 myriamètres, ou 1432,7 lieues, terme moyen. L'excès du plus grand rayon sous l'équateur n'est que de quatre lieues et demie

sur le plus petit mené vers le pôle, lequel vaut 1430 lieues.

Le plan tangent en un point de notre globe se nomme *horizon sensible*, pour le distinguer de l'*horizon rationel* qui lui est parallèle, et qui passe par le centre de la Terre. On peut prendre l'un de ces plans pour l'autre, quand il s'agit de la distance des étoiles, par les raisons qui ont été exposées précédemment; mais il n'en est pas de même quand on considère des corps planétaires qui sont à des distances très-appréciables. On ne peut pas alors regarder comme nul le rayon de la Terre qui forme la distance de ces deux plans. Il existe autant d'horizons différens que de points sur la surface de la Terre; cependant, à moins de faire des opérations qui exigent une extrême précision, nous avons l'habitude de regarder comme appartenant à un même horizon tous les points que présente la surface des eaux d'un lac.

L'horizon sensible et l'horizon rationel d'un lieu ont la même *verticale*, le même *zénith* et le même *nadir*. La verticale perce la surface de la Terre en deux points, dont l'un est *antipode* par rapport à l'autre. Ainsi le pôle nord de la Terre est antipode par rapport au pôle sud. Toutes les verticales passent évidemment par le centre de la terre considérée comme une sphère. On avait d'abord de la peine à concevoir l'existence d'hom-

mes qui sont antipodes par rapport à nous, et dont les pieds sont opposés aux nôtres; cela tient surtout à l'idée qu'on se ferait d'avoir les pieds en *bas* et la tête en *haut.* Mais si l'on admet qu'on a les pieds en bas, quand ils sont tournés vers le centre de la Terre, et la tête en haut, quand elle est dirigée vers le Ciel, on concevra que les antipodes ne sont pas dans une position plus extraordinaire que nous.

La sphère étoilée présente différentes apparences, selon les lieux de la Terre où l'on se trouve. Si l'on était, par exemple, au pôle, on aurait pour horizon sensible un plan perpendiculaire à l'axe de la Terre, ou parallèle à l'équateur; on ne verrait jamais que les mêmes étoiles, et toutes décriraient des circonférences parallèles à l'horizon. L'étoile polaire serait toujours très-rapprochée du zénith, et les étoiles voisines de l'équateur borderaient toujours l'horizon; un pareil spectacle n'offrirait aucune variété, et l'on ne connaîtrait jamais les étoiles de l'autre hémisphère. Dans cette position, on dit que la sphère est *parallèle.*

Tous les habitans de l'équateur, au contraire, aperçoivent successivement toutes les étoiles des deux hémisphères pendant douze heures, c'est-à-dire, pendant la moitié de leur révolution. Ils voient les étoiles décrire des demi-circonférences perpendiculaires à l'horizon, et dirigées de l'o-

rient vers l'occident. Les deux pôles, vers le nord et vers le sud, sont constamment sur le plan de l'horizon. Dans cette position, la sphère prend le nom de *sphère droite*.

Enfin, dans les lieux situés entre le pôle et l'équateur, on voit en vingt-quatre heures une partie plus ou moins grande des étoiles qui brillent au Ciel, et l'on observe que ces astres décrivent des arcs qui ne sont ni parallèles ni perpendiculaires à l'horizon, mais bien obliques; ce qui a fait dire alors que la sphère est *oblique*.

Détermination des longitudes et des latitudes sur terre et sur mer.

Nous avons vu de quelle importance était pour la géographie la détermination exacte des longitudes et latitudes des différens points remarquables de la surface de la Terre. Cette détermination devient surtout utile au navigateur qui n'a point d'autres renseignemens pour se diriger à travers l'immensité des mers. Nous allons donc nous occuper de la recherche de ces deux élémens de position.

Commençons par déterminer la latitude d'un lieu. Supposons que *ezp* soit un méridien terrestre; un observateur, placé en *o*, au centre de la Terre, qui verrait un voyageur se diriger depuis

l'équateur *e* jusqu'au pôle *p*, en suivant toujours le même méridien, le verrait à toutes les latitudes, depuis o jusqu'à 90°. Si le voyageur s'arrêtait au point *z*, sa latitude serait *ez*, ou bien l'angle *eoz* compris entre l'équateur et la verticale ; mais cet angle est aussi égal à *poh*, la hauteur du pôle, comme nous l'avons déjà vu ; car ils sont l'un et l'autre le complément de l'angle *zop*. Il suffira donc, pour connaître la latitude d'un lieu, de prendre la hauteur du pôle sur l'horizon rationel de ce lieu, puisque l'une de ces valeurs est égale à l'autre. Mais le pôle étant à une distance infinie, nous pouvons indifféremment, par ce qui précède, prendre sa hauteur par rapport à l'horizon, soit sensible, soit rationel. Le voyageur, arrivé en *z*, peut donc prendre sa latitude comme l'aurait fait l'observateur placé au centre de la Terre. Ainsi nous pourrons désormais partir de ce principe général, que *la latitude d'un lieu est égale à la hauteur du pôle*. Il résulte de là que, pour tous les points de l'équateur qui ont le pôle dans le plan de l'horizon, la latitude est nulle, et qu'on voit le pôle s'élever à mesure que la latitude augmente.

En mer, au lieu de prendre la hauteur du pôle, on prend la hauteur du Soleil au moment où cet astre passe au méridien. Comme d'ailleurs on a des tables qui donnent pour chaque jour, à midi, la distance du Soleil au pôle ou à l'équateur, par

une simple addition ou soustraction, on parvient alors à déterminer la hauteur du pôle, ou la latitude du lieu où l'on se trouve. Par exemple, si le jour où l'on veut prendre la latitude d'un lieu, la déclinaison boréale du Soleil est de 10°, et conséquemment sa distance au pôle de 80°, il faudra opérer de la manière suivante. On observera la hauteur du Soleil, qu'on trouvera, par exemple, de 60°, et on l'ajoutera à la distance du Soleil au pôle que donnent les tables. La somme 150° sera la distance du pôle à l'une des extrémités de l'horizon, et 180° — 150°, ou 30°, sera la distance au point diamétralement opposé, ou la hauteur du pôle, et conséquemment la latitude du lieu. Il faut faire attention que le pôle partage toujours en deux parties le vertical qui sert de méridien au lieu où l'on observe, et que la plus petite de ces parties est la hauteur du pôle.

La hauteur du Soleil se mesure ordinairement au moyen du *sextant*, instrument commode, qui permet d'observer indépendamment des oscillations du vaisseau. Il faut faire attention que l'on doit corriger cette hauteur de tout le demi-diamètre du Soleil, parce qu'au lieu de prendre la distance du centre de cet astre à l'horizon, on prend la distance de son bord supérieur ou inférieur. Enfin il existe encore d'autres corrections moins importantes, à la vérité, mais dont il faut cependant tenir compte.

En observant en mer la hauteur d'un astre, on mène deux rayons visuels, l'un à l'astre et l'autre à la ligne extrême qui sépare le Ciel et la Mer. On suppose alors que ce dernier rayon est horizontal : supposition qui n'est pas exacte, puisque, sur le vaisseau, on se trouve toujours à une certaine hauteur au-dessus de l'horizon. La hauteur de l'astre observée est donc trop grande de l'angle compris entre la véritable ligne horisontale et le rayon visuel mené vers la ligne qui sépare le Ciel de la Mer. Ce dernier angle se nomme *angle de dépression*. Il existe des tables qui donnent sa valeur pour les différentes élévations de l'observateur au-dessus de la mer.

La détermination de la longitude ne présenterait aucune difficulté, si l'on avait d'excellens *chronomètres* ou machines qui servent pour la mesure du temps. Supposons, en effet, qu'une montre soit construite avec assez de soins pour qu'elle ne se dérange pas durant le cours d'une année, et qu'elle marque midi chaque fois que le point équinoxial revient au méridien ; si l'on se mettait en voyage avec un pareil instrument, et si l'on se dirigeait toujours le long du même méridien, chaque jour la montre marquerait midi, lorsque le point équinoxial serait à son passage supérieur. Mais il n'en serait point de même, si l'on quittait le méridien primitif pour passer dans un autre plus à l'orient ou plus à l'occident ; on

verrait arriver le point équinoxial à son passage supérieur plutôt ou plus tard. Par exemple, en se transportant à 15° de longitude vers l'occident de Paris, la montre marquera encore midi, lorsque le point équinoxial passera au méridien de Paris ; mais alors ce point ne passera pas encore au méridien du lieu où l'on se trouve ; il n'y arrivera qu'une heure après, et la montre avancera d'une heure sur le temps du lieu. La montre, au contraire, retarderait d'une heure, si l'on s'était transporté à 15° de longitude vers l'orient. Il faut se rappeler que les astres décrivent, d'un mouvement apparent, dans le ciel, une circonférence entière en vingt-quatre heures, ce qui fait 15° par heure comme on peut le voir par la table donnée à la page 3. Ainsi sachant de combien de degrés on se transporte vers l'occident ou vers l'orient de Paris, on trouve de combien la montre doit avancer ou retarder sur le temps du lieu où l'on arrive. Réciproquement, si l'on connaît le retard ou l'avance d'une montre, on peut en déduire aussi la longitude du lieu où l'on est : ainsi, par cela seul que la montre marquerait une heure à l'instant du passage de l'équinoxe, on pourrait en conclure que l'on est à 15° de longitude à l'occident de Paris. Si la montre marquait 2 h. 5', il faudrait compter 31° 15' de longitude à l'occident du lieu où l'on a réglé sa montre. Ce moyen de déterminer les longitudes est précieux, sur-

tout pour les marins ; aussi a-t-on cherché par tous les moyens possibles à perfectionner les montres marines.

Mais il en est ici comme pour la latitude ; au lieu de se régler sur la marche des étoiles, les marins préfèrent observer le Soleil, et employer des tables qui donnent chaque jour la distance de cet astre au point équinoxal. Connaissant donc l'heure à laquelle le Soleil passe au méridien, ils calculent sans peine l'instant du passage de l'équinoxe, et suppléent ainsi à une observation par une autre beaucoup plus facile.

Souvent il arrive qu'à l'heure de midi, le Soleil se trouve caché par des nuages : comme alors on se trouverait dans l'impossibilité de prendre la hauteur du Soleil, on a recours à la méthode des *hauteurs correspondantes*. Elle consiste à prendre la hauteur du Soleil des deux côtés du méridien, lorsque cet astre est également élevé, ce qui a lieu à des époques également éloignées de midi ; par exemple, à onze et à une heure, ou bien à dix et à deux heures. Si l'on a observé le Soleil à des hauteurs égales à *onze* et à *deux heures*, on en conclura que l'astre a passé au méridien à midi et demi.

Sur Terre, on a encore d'autres moyens de déterminer la longitude : on emploie l'observation d'un phénomène qui doit être visible en même temps sur plusieurs points éloignés, tel

qu'une éclipse, par exemple ; alors la comparaison des temps indiqués par les pendules dans les différentes stations, donne la différence des temps ou des méridiens entre ces stations. Malheureusement, sur mer, les oscillations du vaisseau s'opposent à l'emploi des instrumens qui sont nécessaires pour de pareilles observations ; et le navigateur n'y peut recourir avec succès que dans ses relâches.

De la rotation de la Terre.

Jusqu'ici nous avons regardé la sphère céleste comme étant dans un mouvement continuel de révolution autour de notre Terre ; mais est-ce bien véritablément l'hypothèse qu'il faut admettre, et la Terre elle-même n'aurait-elle pas un mouvement de rotation sur son axe, pendant que les étoiles sont en repos? Nous sommes à-peu-près dans la même position où se trouverait une personne qui, assise dans un fauteuil, croirait voir sa chambre tourner autour d'elle. Avant de conclure que ce mouvement a effectivement lieu, ne serait-il pas plus naturel de supposer que son fauteuil tourne à son insu? Examinons la question de plus près, et voyons laquelle des deux hypothèses sur le mouvement diurne paraît la plus simple et la plus conforme à l'économie de la nature.

En admettant la révolution de la voûte cé-

leste, il faut admettre que les étoiles, situées à des distances presque incalculables, décrivent en un jour, avec des vitesses prodigieuses, des circonférences de plusieurs milliers de milliards de lieues, et cela en conservant leurs distances respectives, et sans que la moindre altération puisse se manifester au milieu de ce tourbillon si rapide que l'imagination s'effraie en cherchant à le concevoir. Il faudrait que tous ces corps immenses fussent dépendans de notre globe, qui est comme un grain de poussière perdu dans l'espace. Une pareille hypothèse est sans doute bien loin de s'accorder avec les lois économiques de la nature, et doit donner une idée bien rétrécie de la création. Nous ne craignons pas même de le dire, elle répugne à notre raison. Si l'on conçoit, au contraire, que c'est la Terre qui tourne, tout devient simple et tout s'explique sans effort. Les deux pôles, pendant la révolution diurne, tourneront sur eux-mêmes, et les points de l'equateur qui auront la vitesse la plus grande, décriront 9,000 lieues par jour, ou bien 6,3 lieues environ par minute. Ces motifs seuls, s'il n'en existait une foule d'autres que nous aurons lieu de remarquer par la suite, doivent nous suffire pour admettre que *la Terre a un mouvement de rotation sur son axe d'occident en orient*, *tandis que les étoiles demeurent fixes dans l'espace.*

On a objecté, contre cette hypothèse, que la pierre qu'on laisse tomber du côté occidental d'une tour, devait arriver à terre à une certaine distance du pied de cette tour. Mais cette hypothèse a été réfutée sans peine, en considérant la combinaison des forces, et en faisant attention que la pierre, au moment de sa chute, participe du mouvement de la Terre. Des expériences nouvelles ont fourni au contraire, de nouveaux argumens en faveur du mouvement diurne du globe.

Il résulte de ce qui précède, que si un homme pouvait marcher assez vite pour parcourir uniformément vers l'occident et le long d'un parallèle 15° par heure, ou pour faire le tour du globe en 24 heures, il arriverait qu'en partant d'un lieu où le Soleil est au méridien, cette personne continuerait à avoir toujours midi. De sorte qu'en revenant au point de son départ, où l'on aurait compté un jour et une nuit, cette personne n'aurait point cessé d'avoir midi; car, marchant aussi vite que la Terre, mais dans un sens opposé, tout se passerait à ses yeux comme si la Terre était en repos. Supposons maintenant que cette personne fasse pendant sa marche une pose de six mois; à l'endroit de son départ, on aura compté ces six mêmes mois, plus le jour et la nuit dont nous avons parlé. Mais au lieu de se reposer, cette personne pourrait em-

ployer ces jours à marcher, ce qui ne change rien à la question : ainsi, après avoir fait le tour du monde, en allant d'orient en occident, on compte à son retour une nuit et un jour de moins qu'à l'endroit d'où l'on est parti, c'est-à-dire, une succession du jour à la nuit. Si l'on marchait de l'occident vers l'orient, il arriverait le contraire.

De l'atmosphère et des réfractions.

L'expérience nous apprend que notre globe est entouré d'un fluide gazeux transparent, qui nous enveloppe de toutes parts : il pèse comme tous les autres corps, et sa pression à la surface des mers équivaut au poids d'une colonne de mercure de $0^{m},76$, prise à la température de la glace fondante. La densité du fluide gazeux qui constitue l'*atmosphère*, n'est pas partout la même, et la physique nous enseigne que, dans l'état d'équilibre, la densité de l'air doit décroître de bas en haut en série géométrique, lorsque la nature chimique et la température de la colonne sont égales dans toute la hauteur. Le *baromètre*, qui sert à mesurer la pression de l'atmosphère, montre en effet qu'à mesure qu'on s'élève, cette pression diminue ; de sorte qu'elle serait à-peu-près nulle à la hauteur 15 à 16 lieues. Telle est l'épaisseur que l'on attribue à notre atmosphère ; au-delà

de cette limite, on se trouverait à-peu-près dans le vide.

Le baromètre a un autre avantage, c'est de pouvoir indiquer la hauteur à laquelle on se trouve au-dessus du niveau des mers : cette propriété résulte évidemment de la connaissance de la loi physique que nous avons exposée plus haut. Aussi il existe des tables qui satisfont pleinement à ce but, et nous aurons occasion d'en parler plus loin.

Pris en petite quantité, l'air est incolore; mais les rayons du Soleil réfléchis à-la-fois par toutes les couches de l'atmosphère, lui communiquent une couleur bleue plus ou moins intense qui forme l'*azur céleste*. A mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, cette couleur devient moins vive, et le Ciel paraîtrait noir au-delà de ses dernières couches. C'est aussi par l'effet de l'air et de l'eau qui s'y trouve à l'état de vapeur, que l'horizon prend une teinte rougeâtre quand le Soleil s'en approche ; et c'est à l'épaisseur de la tranche horizontale des molécules atmosphériques qu'interceptent les rayons lumineux, que l'on doit attribuer la facilité avec laquelle on peut fixer le Soleil dépouillé de tout son éclat.

Si l'atmosphère n'existait pas, il n'y aurait point d'*aurore* ni de *crépuscule;* le matin, le Soleil paraîtrait subitement dans tout son éclat et disparaîtrait de même vers le soir. Les phénomènes sont produits par la propriété qu'a l'atmos-

phère d'infléchir les rayons lumineux vers la surface de la Terre : cette propriété est connue sous le nom de *réfraction*.

La physique nous apprend qu'en général lorsqu'un rayon lumineux passe obliquement d'un *milieu* transparent dans un autre, il s'écarte de sa direction primitive et subit une réfraction. Si par le point d'*incidence* où le rayon rencontre le second milieu, on conçoit une perpendiculaire à la surface réfractante, le rayon réfracté se rapprochera de cette perpendiculaire, si le milieu où il entre est plus dense que celui qu'il quitte ; et, au contraire, s'il est plus rare, il s'en écartera, de manière que les sinus des deux angles que forment ses directions avant et après son entrée dans le nouveau milieu, *sont en raison constante, quels que soient ces angles.*

Si, par exemple, un rayon de la lumière *s a*, (*fig.* 3), envoyé par un astre en *s*, venait couper l'atmosphère *a' a'* au point *a*, ce rayon se trouverait réfracté, et poursuivrait son chemin selon la droite *a b*. De sorte que si l'œil était en *b*, il ne verrait pas l'astre dans sa vraie position, mais dans le prolongement de la droite *a b*. Comme l'atmosphère n'est pas uniformément dense, mais qu'elle est composée d'une infinité de couches dont l'épaisseur augmente insensiblement en approchant de la Terre, les rayons lumineux qui la traversent n'arrivent point en li-

gne droite, mais selon une ligne courbe concave vers la surface terrestre. L'observateur qui n'aperçoit les objets que selon la direction de la tangente à la courbe que décrit chaque rayon lumineux, les voit plus élevés qu'ils ne le sont réellement. Ainsi, un astre situé en *s* sera vu en *s'*, par l'effet de la réfraction. On peut, de cette manière, observer encore les astres au-dessus de l'horizon, quelques instans après leur coucher ou avant leur lever.

La réfraction est nulle pour un astre qui passe au zénith, et elle est d'autant plus grande que l'astre est plus voisin de l'horizon. En suivant les lois de décroissement des réfractions de l'horizon jusqu'au zénith, les astronomes sont parvenus à les réduire en tables. Puisqu'un astre paraît toujours plus élevé qu'il ne l'est effectivement, il faut corriger toutes les observations que l'on fait de l'erreur de réfraction. Cette erreur, pour un astre près de l'horizon, peut s'élever jusqu'à 33 minutes. Or, les diamètres du Soleil et de la Lune ne sont pas vus généralement sous un angle plus grand; on peut donc dire que quand leurs bords inférieurs touchent l'horizon, ces astres sont déjà effectivement couchés, et que, si on les voit encore, ce n'est que par l'effet de la réfraction qui les fait paraître au-dessus de leur véritable hauteur. La même cause fait paraître, le matin, les disques du So-

leil et de la Lune sur l'horizon au moment où ils n'y sont point encore. Comme l'on ne peut point corriger l'erreur de réfraction avec la dernière précision, les astronomes évitent, autant que possible, d'observer dans le voisinage de l'horizon.

On concevra maintenant sans peine la cause du crépuscule et de l'aurore. Avant même que le Soleil soit sur l'horizon, ou lorsqu'il vient de passer plus bas que ce plan, ses rayons se trouvent infléchis par l'atmosphère et ménagent la succession du jour à la nuit. L'expérincee prouve que le Soleil se trouve dans un cercle parallèle à l'horizon et à 18° au-dessous de ce plan : ce cercle a reçu le nom de *crépusculaire*. Les géomètres se sont beaucoup occupés de savoir à quelles époques on a les plus courts crépuscules. Ce problème a eu quelque célébrité, et se nomme le *problème du plus court crépuscule*. On en a maintenant plusieurs solutions faciles. C'est encore par un effet de la réfraction que le Soleil et la Lune paraissent aplatis quand ils sont près de l'horizon. Les différens points de leurs disques sont élevés au-dessus de leurs véritables hauteurs ; mais ils le sont inégalement : les points inférieurs éprouvent une réfraction plus grande que les points supérieurs ; de sorte que ces points paraissent plus rapprochés qu'ils ne le sont réellement.

Il est un autre phénomène qui mérite quelque attention, c'est que le Soleil et la Lune sem-

blent beaucoup plus grands à leur lever et à leur coucher que lorsqu'ils sont vers le haut du Ciel. Cette illusion paraît provenir de ce que notre position dans un lieu de la Terre doit nous faire juger l'atmosphère plus alongée dans le sens horizontal que dans la direction du zénith. A cette cause s'en joint une autre, c'est que la présence des objets, placés dans une même direction, contribue à éloigner la limite apparente de l'atmosphère, parce que nous estimons cette distance par comparaison avec d'autres corps, et que les points de comparaison nous manquent entièrement quand l'astre se trouve vers le haut du Ciel. Du reste, ces explications n'ont point paru satisfaisantes à bien des astronomes. (1)

Les observateurs anciens ne tenaient pas compte des réfractions astronomiques dont ils n'avaient point reconnu les influences. Walter de Nuremberg paraît avoir reconnu le premier leur existence. Descartes publia la vraie loi de la réfraction en 1629 ; mais Huygens et Vossius ont réclamé l'honneur de la découverte en faveur de leur compatriote Snellius.

(1) Nous n'avons pas, dans ce qui précède, parlé de l'état électrique de l'atmosphère, ni du décroissement de température à mesure qu'on s'élève, parce que cette partie appartient plus particulièrement à la physique.

CHAPITRE II.

DU SOLEIL. ☼.

De l'obliquité de l'écliptique et des phénomènes qui en dépendent.

Quand on observe avec attention le mouvement apparent du Ciel pendant plusieurs nuits consécutives, on ne tarde pas à s'apercevoir que certains astres ne conservent pas constamment la place qu'ils occupaient à l'égard des autres. On reconnaît sans peine, par exemple, que le Soleil semble avoir un mouvement propre, dirigé en sens contraire du mouvement diurne; car, si l'on remarque les étoiles qui brillent sur l'horizon un instant après son coucher, on les verra quelques jours après se rapprocher de lui et se perdre bientôt dans ses rayons jusqu'à ce qu'elles reparaissent le matin avant son lever. Le Soleil paraît donc s'avancer vers elles d'occident en orient par une progression lente. Pour mieux expliquer ce déplacement et en apprécier les moindres circonstances, nous supposerons qu'on observe à-la-fois le Soleil à la lunette méridienne et au cercle mural. Cela posé, imaginons que le bord du disque solaire se présente au méridien en même temps qu'une étoile; le lendemain, quand la pendule astronomique mar-

quera midi, on verra revenir la même étoile au méridien; mais le même bord du disque solaire n'y arrivera qu'environ 4' après. Le retard nous indique conséquemment que le Soleil s'est déplacé d'environ 1° vers l'orient : la valeur moyenne de ce déplacement est de 59',13883. Le surlendemain, la différence en ascension droite est de 2° à-peu-près, et ainsi de suite; de sorte que le retard du Soleil, par rapport à l'étoile, devient de jour en jour plus considérable, jusqu'à ce qu'enfin ce retard étant de 24_h, le Soleil reparaît au méridien avec la même étoile, après avoir décrit une circonférence entière dans le Ciel. Cette révolution s'opère dans l'espace de 365',256384, et cette période a reçu le nom d'*année sidérale*.

On pourrait donc régler une pendule de deux manières, soit d'après les retours successifs d'une même étoile au méridien, soit d'après les retours du Soleil. Or les astronomes comptent de la première manière, et les vingt-quatre heures qui s'écoulent entre les deux passages supérieurs successifs de l'étoile, constituent le *jour sidéral*. Pour l'usage civil, on a préféré régler le temps d'après la marche du Soleil, et nous nommons, *jour solaire*, l'intervalle de deux passages.... D'après ce qui précède, il est évident que le jour solaire est plus long que le jour sidéral; et que deux pendules, dont l'une marquerait le temps

sidéral et l'autre le temps solaire, ne seraient d'accord qu'une seule fois par an.

La lunette méridienne vient de faire reconnaître au Soleil un mouvement propre en ascension droite ; le cercle mural en fait connaître un en déclinaison. A chaque retour, au méridien, le Soleil paraît avoir décrit un petit arc le long du méridien, soit pour s'approcher de l'équateur, soit pour s'en éloigner. Deux fois par an il passe à l'équateur, et deux fois il atteint ses plus grands écarts daus l'hémisphère boréal et austral.

Le Soleil a donc deux mouvemens apparens propres ; l'un en déclinaison, le long du méridien, l'autre en ascension droite, le long d'un parallèle ; et ces deux directions sont rectangulaires. Or, les notions les plus élémentaires de la mécanique, prouvent que, quand un corps a deux mouvemens rectangulaires, il ne peut les suivre tous deux en même temps ; mais qu'il suit la direction de la diagonale du rectangle, qui a pour côtés deux droites proportionnelles aux vitesses des deux mouvemens. Il en résulte donc que le Soleil suit effectivement une direction oblique au méridien et à l'équateur. En dessinant avec soin dans le Ciel la trajectoire que semble parcourir cet astre, on trouve que c'est une courbe plane qui diffère peu d'une circonférence de grand cercle ; de sorte que le centre du So-

leil ne sort pas d'un plan, passant par le centre de notre Terre, et incliné par rapport à l'équateur sous un angle de 23° 27' 55" 8. Ce plan se nomme l'*écliptique*, et l'angle qu'il forme avec l'équateur, *obliquité de l'écliptiqne*.

Le plan de l'écliptique, dont nous avons déjà eu occasion de parler, est d'une grande importance en astronomie ; il a aussi ses *pôles* comme l'équateur, aux deux points du Ciel par lesquels passe la perpendiculaire qu'on lui élève au centre de la Terre. La distance d'un astre à l'écliptique se nomme la *latitude* de cet astre ; la *longitude* se compte au moyen d'un arc de l'écliptique, à partir de la ligne où ce dernier plan coupe l'équateur. Cette ligne d'intersection de l'équateur et de l'écliptique se nomme la ligne *des nœuds*, et les deux points où elle rencontre la voûte céleste, ont reçu le nom de points *équinoxiaux*, ou simplement *équinoxes*.

Nous verrons plus loin que la ligne des nœuds se déplace lentement dans le Ciel, contre l'ordre des signes, c'est-à-dire en allant du Bélier vers les Poissons, des Poissons vers le Verseau, et ainsi de suite. Mais vu la lenteur de ce mouvement, nous pouvons, pour le moment, regarder cette droite comme invariable de position, de même que l'axe de la Terre.

La longitude, disons-nous, se compte sur l'écliptique à partir de l'équinoxe de printemps,

et dans l'ordre des signes de 0° à 360° ; mais les astronomes préfèrent ordinairement prendre pour point de départ le midi du 31 décembre, qu'ils nomment l'*époque*, et le midi du 1er janvier pour les années bissextiles. Pour 1826, par exemple, la longitude moyenne de l'époque était de $9^s\ 9^\circ\ 36'\ 5''$. Le Soleil étant toujours dans le plan de l'écliptique, a toujours 0° de latitude : quant à la longitude, elle est nulle quand le Soleil se trouve dans le plan de l'équateur ; ce qui arrive vers le 21 mars, époque où cet astre se lève avec la constellation des Poissons. On a coutume de dire encore qu'il se lève alors avec le Bélier, désigné par le signe ♈, comme cela arrivait autrefois : à partir de là, sa longitude augmente de jour en jour, et le Soleil s'éloigne de plus en plus du plan de l'équateur, en remontant vers le pôle boréal, jusqu'à ce qu'il en soit à environ $66^\circ\frac{1}{2}$—de distance. Il paraît alors s'arrêter un instant, ce qui a fait nommer cette époque le *solstice* d'été ; puis il se rapproche de l'équateur, et le traverse encore vers le 21 septembre, à 180° de longitude, au point que l'on est convenu de regarder comme étant dans le signe de la Balance ♎. L'astre alors passe au-dessous de l'équateur dans l'hémisphère austral, atteint le solstice d'hiver, et revient enfin passer à l'équinoxe de printemps après une année.

Le chemin que semble parcourir le Soleil et

les constellations qu'il traverse successivement, ont fixé de tout temps l'attention des hommes. Ces constellations, qui sont au nombre de douze, comme les mois de l'année, constituent le *Zodiaque,* et ont été souvent nommées par les poètes les douze maisons du Soleil. Le Zodiaque présente donc une succession de douze constellations qui enveloppent le Ciel comme une ceinture large d'environ 17°, laquelle est partagée en deux parties égales par l'écliptique. Nous avons déjà fait connaître deux vers attribués au poète Ausone, qui rappellent les noms et l'ordre des constellations zodiacales ; nous allons les répéter ici avec l'indication des signes qui les représentent.

Sunt Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo;
♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍
Libraque, Scorpius, Arcitenens, Caper, Amphora, Pisces.
♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

Presque tous les peuples anciens employaient les mêmes moyens pour étudier le mouvement propre du Soleil en déclinaison ; ils avaient fort bien remarqué qu'à son passage supérieur, la hauteur de cet astre était moins grande en hiver qu'en été. Ils avaient imaginé, pour ce genre d'observations, des pyramides et des obélisques qu'ils nommaient des *gnomons.* A mesure que le Soleil se lève, les ombres que les gnomons pro-

jettent derrière eux, se raccourcissent ; et quand le Soleil, au méridien, atteint sa plus grande hauteur, l'ombre est la plus courte. Dans cet instant elle est étendue dans le plan horizontal sur la ligne d'intersection de ce plan avec le méridien, ligne qui s'appelle la *méridienne*. Si le Soleil avait toujours la même déclinaison, chaque jour à midi l'ombre projetée par le gnomon aurait la même longueur ; mais comme cette longueur varie, on doit en conclure que le Soleil n'est pas toujours à la même hauteur, à l'instant de son passage. Les ombres les plus longues sont projetées au solstice d'hiver, et les plus courtes au solstice d'été, lorsque le Soleil atteint sa plus grande hauteur. A ces deux époques, le Soleil, participant au mouvement apparent du Ciel, décrit des parallèles distans de l'équateur d'environ 23° 28' ; on les nomme les deux *tropiques* : celui qui est dans notre hémisphère s'appelle tropique du *Capricorne*, et l'autre tropique du *Cancer*, noms qui dérivent des constellations dans lesquelles le Soleil se trouvait autrefois quand il arrivait dans ces positions. Quelquefois les gnomons sont formés par une simple ouverture circulaire pratiquée dans un mur élevé qui donne passage aux rayons du Soleil : alors on juge de la hauteur de l'astre par les distances de son image au pied du même mur. Il existe plusieurs gnomons semblables dans les églises ; on peut

en voir un très-beau à Saint-Sulpice à Paris.

L'écliptique céleste coupe notre globe selon un grand cercle qui forme aussi un angle d'environ 23° 28' avec le plan de l'équateur : on le nomme, par analogie, *écliptique terrestre ;* et l'on nomme de la même manière *tropiques de la terre,* deux petits cercles parallèles à l'équateur.

Si le Soleil n'avait pas de mouvement en déclinaison, les habitans de l'équateur le verraient toujours à leur zénith quand il passe au méridien ; mais ils ne l'aperçoivent ainsi que deux fois par an, aux époques des équinoxes : alors il éclaire également les deux hémisphères ; pendant le reste de l'année il se trouve de l'un ou de l'autre côté de l'équateur, mais entre les deux tropiques. Il n'y a donc que les habitans situés entre ces deux petits cercles qui puissent voir le Soleil à leur zénith ; tous les autres qui se trouvent à une distance de l'équateur plus grande que 23° 28', le voient toujours plus bas que 90°, et les ombres de leurs gnomons, à midi, sont toujours projetées dans le même sens ; tandis qu'entre les deux tropiques, l'ombre est projetée tantôt vers le nord, tantôt vers le sud. De là, ces dénominations qu'on leur applique quelquefois ; *amphisciens,* qui voient l'ombre de deux côtés ; *asciens,* sans ombre, quand le Soleil est au zénith : on dit aussi *antisciens,* des peuples qui ont les ombres opposées ; *hété-*

rosciens, de ceux qui habitent au-delà des tropiques, et qui ne voient jamais l'ombre que du même côté. Les habitans des tropiques seuls voient une fois par an le Soleil à leur zénith, et l'ombre de leurs gnomons est alors nulle ; mais pendant le reste de l'année, cette ombre se projette toujours du même côté.

Le point du Ciel où est l'équinoxe du printemps, c'est-à-dire, celui où le Soleil traverse l'équateur pour monter dans notre hémisphère, est, comme nous l'avons dit, le lieu à partir duquel on compte les longitudes sur l'écliptique, et les ascensions droites sur l'équateur. Le temps que l'astre emploie à s'élever jusqu'au solstice, forme le printemps ; les trois autres *saisons*, l'*été*, l'*automne* et l'*hiver*, sont les intervalles de temps employés par l'astre à parcourir les arcs compris entre les solstices et les équinoxes : ces intervalles sont d'environ trois mois chacun.

C'est à l'inclinaison de l'axe de la Terre sur l'écliptique qu'il faut attribuer l'inégalité des saisons et des jours pendant le cours de l'année. Si elle n'existait point, le Soleil serait toujours dans le plan de l'équateur, nous jouirions d'un printemps perpétuel, et comme aux équinoxes, les jours seraient constamment égaux aux nuits. Mais dans l'état actuel des choses, comme nous venons de le voir, le Soleil, vers les solstices, est à sa plus grande ou à sa moindre hauteur, et

conséquemment il darde ses rayons dans une direction plus ou moins oblique. Or, c'est de cette obliquité même que dépend leur effet; c'est donc vers les solstices qu'on doit ressentir les plus grandes chaleurs ou les plus grands froids. Il faut ajouter à cela que le Soleil est plus ou moins long-temps sur l'horizon, selon les époques de l'année. Vers le solstice d'été, par exemple, étant à sa plus grande hauteur, il décrit au-dessus de notre horizon un arc beaucoup plus étendu qu'au solstice d'hiver. Il est donc plus long-temps visible; et, en effet, c'est à cette époque aussi qu'on a les plus longs jours. Notre pôle *n* (*fig.* 4) alors est tourné vers le Soleil comme dans la figure 4; les rayons *a b* arrivent parallèlement au plan de l'écliptique, et pendant la révolution de la Terre autour de son axe *n s*, le Soleil paraît décrire le tropique *t t'*. Toute la partie *c n f'* est éclairée, et les rayons solaires qui effleurent la Terre en *c* et *f'* établissent deux lignes de démarcation *c c'* et *f f'* que l'on nomme les *cercles polaires*. Un habitant placé au point *n* verrait constamment le Soleil pendant six mois; un autre, au point *f*, au contraire, serait plongé dans l'obscurité pendant tout ce temps. Six mois après, le contraire aurait lieu quand les rayons *a b* arriveraient dans une direction opposée. On conçoit sans peine, par ce qui précède, que l'inégalité des jours doit devenir

d'autant plus sensible qu'on approche davantage des pôles.

On a nommé zône *torride*, la partie de la Terre contenue entre les deux tropiques, et partagée en deux parties égales par l'équateur. Les régions limitées vers les pôles par les cercles polaires, sont les zônes *glaciales*, et les deux zônes *tempérées* sont contenues entre les tropiques et les cercles polaires.

Dans la vue d'expliquer plus facilement les phénomènes célestes, les anciens avaient composé une machine à laquelle ils donnèrent le nom de sphère *armillaire* ou *artificielle*. On compte ordinairement dix cercles dans la sphère armillaire, six grands et quatre petits; les six grands cercles sont l'horizon, le méridien, l'équateur, le zodiaque qui renferme l'écliptique, et enfin les deux *colures*. Ces derniers cercles se coupent perpendiculairement aux pôles de l'écliptique, et l'un passe par les points équinoxiaux, l'autre par les points solsticiaux. Les quatre petits cercles sont les deux tropiques et les deux cercles polaires. On distingue encore deux lignes droites, l'axe du monde et celui de l'écliptique, et dix-neuf points qu'il suffira d'énoncer : ce sont, le centre de la Terre, le zénith et le nadir, les deux pôles du monde, les deux pôles de l'écliptique, les quatre points cardinaux par rapport à la Terre, les quatre points cardinaux par rapport au Ciel,

c'est-à-dire, les points équinoxiaux et solsticiaux, enfin les quatre points qu'on nomme *collatéraux :* ce sont les quatre points où les tropiques coupent l'horizon.

Du mouvement de la Terre autour du Soleil.

Nous avons supposé précédemment que le Soleil tournait autour de la Terre ; mais l'expérience nous a déjà appris qu'il ne fallait pas regarder comme réels des mouvemens apparens. Si nous pouvions nous transporter à la surface du Soleil, les autres apparences demeurant les mêmes, ce serait la Terre qui semblerait se mouvoir autour du Soleil. Du reste, il suffira d'un peu d'attention pour se convaincre que tout ce que nous avons vu précédemment s'explique avec la même facilité dans l'une et l'autre hypothèse.

Nous avons dit que quand un jour on aperçoit le Soleil et une étoile dans la même direction, le lendemain le Soleil paraît s'être avancé vers l'orient d'un mouvement propre. Par exemple, le premier jour, le Soleil s était vu de la Terre t dans la direction de l'étoile e; le lendemain, le Soleil paraîtra avoir parcouru l'arc ss' et sera vu dans la direction d'une nouvelle étoile e'. Si l'on suppose, au contraire, que le Soleil est demeuré fixe en s et que la Terre a parcouru, vers l'occident, l'arc tt', les apparences seront les mêmes, et l'é-

toile *e'* sera vue encore dans la direction du Soleil *s*. Il s'agit donc de savoir si c'est le Soleil qui décrit l'arc *ss'* vers l'orient, tandis que la Terre est fixe en *t*, ou si c'est la Terre qui décrit l'arc *tt'* vers l'occident, tandis que le Soleil est fixe en *s*.

Nous verrons bientôt que le volume du Soleil est plus d'un million de fois plus grand que celui de la Terre ; il faudrait donc que cette masse considérable fût assujettie à tourner autour d'un corps aussi petit que notre globe. Nous trouverions ici les mêmes difficultés que lorsque nous avons expliqué le mouvement de rotation de la Terre sur son axe. Ajoutons à cela que la translation annuelle de la Terre dans l'espace, loin d'être une complication, pourrait être la conséquence des forces qui ont produit sa rotation. C'est ainsi qu'une bille, frappée par une force qui ne passe pas par son centre de gravité, tourne rapidement sur elle-même en même temps qu'elle avance dans la direction du choc ; c'est ainsi encore qu'une toupie tourne sur elle-même, en décrivant une ligne sur le sable. Si nous nous en tenons à ces remarques seulement, nous avons déjà des motifs pour nous prononcer en faveur d'une hypothèse plutôt que de l'autre. A mesure que nous avancerons, nous verrons ces motifs de préférence s'appuyer sur un plus grand nombre de preuves. Ainsi nous admettrons désormais que

le Soleil étant fixe dans l'espace, la Terre décrit autour de cet astre une courbe plane dans l'intervalle de 365,256384 jours.

Nous conclurons de ce qui précède que le centre de la Terre et celui du Soleil se trouvent toujours dans le plan de l'écliptique ; que le Soleil doit être regardé comme fixe ; et que la Terre, dans l'intervalle d'un an, décrit autour de cet astre une courbe fermée qui diffère peu d'une circonférence ; elle a une vitesse qui lui fait parcourir plus de 400 lieues par minute. Dans le même temps, chaque point de l'équateur décrit un arc de 6,3 lieues. Pendant que la Terre tourne ainsi une fois autour du Soleil, elle fait 365 rotations sur elle-même, et quand elle revient à son point de départ, elle a commencé déjà une 366e rotation. Ces 365 rotations se font autour de l'axe de la Terre, qui demeure toujours parallèle à lui-même.

Du diamètre apparent et de la parallaxe du Soleil.

Les anciens croyaient que les révolutions des astres devaient s'effectuer dans des circonférences, comme étant les plus simples de toutes les courbes connues ; cependant ils sentaient fort bien les difficultés qui naissaient d'une pareille hypothèse. Le Soleil, en effet, ne nous paraît pas toujours de même grandeur ; il n'est donc pas toujours à la même distance, et nous ne pouvons

pas raisonnablement supposer qu'il se trouve au centre d'une circonférence que décrirait le centre de notre Terre. Les anciens, pour expliquer ces apparences, avaient imaginé des systèmes fort ingénieux, mais qui ne faisaient que compliquer, au lieu de simplifier, les prétendues lois de la nature. Ce ne fut que long-temps après, qu'osant s'affranchir des idées reçues jusqu'alors, Kepler s'éleva aux importantes découvertes que nous exposerons bientôt. Nous donnerons d'abord quelques notions qui deviennent nécessaires pour l'intelligence de ce qui doit suivre.

L'angle sous lequel on aperçoit le diamètre d'un astre se nomme le *diamètre apparent* de cet astre; on le mesure par le temps qu'il met à passer devant le fil très-fin placé dans une lunette méridienne. Par exemple, si le second bord du Soleil passe au méridien 2' après le premier, on en conclura que le diamètre du Soleil occupe dans le Ciel un espace d'un demi degré, en comptant 15° par heure. Il faut aussi que l'astre dont on mesure le diamètre apparent soit dans l'équateur, sinon il faudrait faire une correction au résultat précédent. On trouve, de cette manière, que le diamètre apparent du Soleil a pour valeur moyenne 32', et pour valeurs extrêmes 31',516 et 32',593. Jusqu'à présent on n'a pas pu trouver de diamètre apparent aux étoiles; l'angle sous lequel on les aperçoit est constamment nul, même

aux yeux de l'observateur muni des meilleurs instrumens d'optique.

Un spectateur, placé au centre du Soleil, verrait aussi le diamètre de notre Terre sous un certain angle. La moitié de cet angle est ce qu'on nomme la *parallaxe* du Soleil. En général, on nomme parallaxe d'un astre, l'angle sous lequel on apercevrait le rayon de la Terre, si l'on était placé sur cet astre. On conçoit que plus un astre est éloigné, plus sa parallaxe doit être petite. On peut même, par la connaissance de sa parallaxe et de son diamètre apparent, estimer sa grandeur. Par exemple, nous savons déjà que de notre Terre on aperçoit le diamètre du Soleil sous un angle de 32' à-peu-près, ou de 1920" ; d'une autre part, on calcule que sa parallaxe est de 8",73, ou, pour nous exprimer autrement, que du Soleil on verrait le diamètre de la Terre sous un angle de 17",45 (1). Puisque la Terre, vue à même distance que le Soleil, nous paraîtrait cent dix fois plus petite que cet astre, nous pouvons en conclure, sans erreur sensible, que véritablement le diamètre du Soleil est cent dix fois aussi grand que le diamètre de notre globe : comme les volumes des sphères sont dans le rapport des cubes de leurs rayons, il s'ensuit que le Soleil

(1) L'astronome Encke, d'après ses calculs, estime la parallaxe horizontale du Soleil à l'équateur de 8",5776, dans sa valeur moyenne.

est 1,331,000 aussi volumineux que notre Terre.

On peut encore apprécier l'éloignement d'un astre par la connaissance de sa parallaxe. Par exemple, si le centre du Soleil est en *s*, le centre de la Terre en *t*, et si *tr* est un rayon de notre globe, l'angle *s* est la parallaxe du Soleil; mais alors le triangle rectangle *tsr* est entièrement déterminé, puisque l'on connaît ses angles et le rayon *tr*. En calculant combien de fois *tr* est contenu dans *ts*, ou combien de fois le rayon de la Terre est contenu dans la distance au Soleil, on trouve 24096. En estimant le rayon de la Terre à raison de 1432 lieues, on trouve que la distance du Soleil est de plus de 34,500,000 de lieues dans sa valeur moyenne. Un homme qui pourrait parcourir 100 lieues par jour, emploierait environ quinze jours à aller jusqu'au centre de la Terre, et un mois à aller et venir. Ce même homme devrait employer 24096 demi-mois à aller jusqu'au Soleil, ou bien environ 1000 ans.

La détermination des parallaxes a encore un autre but d'utilité que celui d'apprécier la distance et la grandeur des astres. On voit en effet par la figure 6, qu'il n'est pas indifférent de prendre une observation faite en un point *r* de la surface de la Terre, comme si elle avait été faite au centre, parce qu'alors les droites *ts* et *tr* ne sont pas sensiblement parallèles comme pour les étoiles fixes situées à des distances immenses. Nous allons

nous occuper de la correction à faire pour rapporter toutes les observations au centre de la Terre.

Le but que l'on se propose, en rapportant toutes les observations au centre de la Terre, est de pouvoir les comparer plus facilement entre elles. On regarde comme le *lieu vrai* des astres, celui où on les verrait s'ils étaient observés de ce centre; et par opposition, on nomme *lieu apparent* le point de la sphère céleste où on les rapporte quand on les voit de la surface de la Terre.

La distance zénithale d'un astre e (*fig.* 7), vu du centre de la Terre, serait l'angle etz, par rapport au point l; la distance zénithale pour ce même astre, vu de la surface de la Terre, serait elz. L'excès de ce dernier angle sur le premier serait, d'après les notions élémentaires de la géométrie, l'angle let, que l'on nomme la *parallaxe de hauteur*. La parallaxe de hauteur tend donc à faire voir un astre plus bas que si on l'observait du centre de la Terre, et *sa valeur est la différence des distances zénithales prises au lieu d'observation ou au centre du globe.* Quand on voudra donc rapporter une observation au centre du globe, au lieu de prendre pour distance au zénith l'angle zle, il faudra le diminuer de la parallaxe de hauteur let, et l'on aura zte.

Voici comment on peut calculer la parallaxe de hauteur d'un astre e. On supposera deux observateurs placés en deux lieux de la Terre l et l',

dont la distance $l l'$ est connue, et conséquemment l'angle $l t l'$; au même instant convenu, ces deux observateurs prendront en même temps les distances zénithales $z l e$ et $z' l' e$; ils connaîtront de cette manière les angles supplémentaires $e l t$ et $e l' t$, en retranchant les précédens de 180 degrés. Alors, dans le quadrilatère $e l t l'$, on connaîtra trois angles et deux côtés $l t$ et $l' t$, qui sont des rayons de la Terre; on aura donc tous les élémens nécessaires pour reconstruire ou calculer un pareil quadrilatère : on saura dire combien de fois le rayon de la Terre est contenu dans la distance $l e$ ou $t e$, et quelle est la valeur des angles $l e t$ ou $l' e t$, qui sont les parallaxes de hauteur pour les deux lieux d'observation l ou l'.

Il est évident que pour un astre qui passe au zénith, la parallaxe de hauteur est nulle; elle devient d'autant plus grande que l'astre s'abaisse davantage, et son *maximum* a lieu quand l'astre est dans le plan de l'horizon. La parallaxe prend alors le nom particulier de *parallaxe horizontale.* C'est cette dernière que l'on emploie ordinairement quand elle n'est point particularisée.

La parallaxe abaissant le lieu vrai des astres n'altère pas seulement leur hauteur, mais elle altère encore leur angle horaire et leur distance au pôle. Les changemens qu'elle produit sur ces deux élémens forment ce qu'on appelle

la *parallaxe d'ascension droite* et la *parallaxe de déclinaison.* Nous avons aussi supposé la Terre sphérique ; mais on conçoit que si le rayon de la Terre est réellement le plus grand, la *parallaxe équatoriale* doit l'être pareillement. Il faudra donc avoir égard, dans le calcul, à ces différentes corrections.

Nous avons déjà vu que l'on nomme, par analogie, *parallaxe annuelle* ou de l'*orbe terrestre,* l'angle sous lequel on aperçoit du centre d'un astre la droite qui joint le centre du Soleil à celui de la Terre, et qui est le rayon vecteur de l'orbe terrestre.

D'après ce qui vient d'être dit, lorsqu'on a observé la hauteur du bord d'un astre au-dessus de l'horizon, il faut faire les corrections suivantes :

1°. On ajoute ou l'on retranche le demi-diamètre apparent de l'astre, selon qu'on a observé le bord supérieur ou inférieur, afin d'obtenir la hauteur apparente de son centre ;

2°. On ajoute la parallaxe de hauteur qui fait paraître l'astre plus bas qu'il ne l'est effectivement ;

3°. On retranche la réfraction qui élève l'astre au-dessus de sa hauteur véritable, en tenant compte de l'état du baromètre et du thermomètre.

Pour les observations faites en pleine mer,

il faudra encore avoir égard à la dépression de l'horizon, comme nous l'avons déjà indiqué. Pour les étoiles, on ne doit tenir compte que de la troisième correction, parce que leur parallaxe et leur diamètre apparent sont insensibles.

Des lois de Kepler.

Le Soleil, comme nous venons de le voir, présente un diamètre apparent qui varie continuellement pendant le cours de l'année : nous en avons conclu que cet astre n'était pas toujours à la même distance de nous. On peut, quand on connaît sa distance pour un diamètre apparent donné, estimer quelle est sa distance pour un autre diamètre apparent plus grand ou plus petit que le premier. Comme on connaît aussi l'arc qu'il parcourt chaque jour, on peut construire assez exactement la *trajectoire* de la Terre, ou bien la ligne que parcourt son centre. En menant, en effet, chaque jour, d'un point pris comme centre du Soleil, des rayons vecteurs qui représentent les directions de la Terre, et en prenant sur chacun de ces rayons des longueurs proportionnelles aux distances de la Terre calculées d'après le diamètre apparent du Soleil, on a une suite de points qui représentent assez bien une ligne ovale peu différente d'une circonférence.

Kepler, frappé de la simplicité du système

de Copernic, qui faisait circuler la Terre autour du Soleil fixe dans l'espace, chercha à pénétrer plus avant encore dans les secrets de la nature, et, en s'aidant de l'induction, il parvint à déterminer les vraies trajectoires que décrivent les astres, et posa ces lois admirables qui portent son nom, et qui sont devenues le fondement de l'astronomie moderne. Il trouva d'abord que l'*orbite de la Terre, ainsi que celles des planètes, sont des ellipses dont le Soleil occupe le foyer commun.* On sait que l'ellipse est une courbe ovale qu'on peut obtenir en coupant un cône droit obliquement à son axe ; ce qui l'a fait nommer une section conique. On peut produire aussi l'ellipse en fixant les deux extrémités d'un fil non tendu sur le papier et au moyen d'épingles en *f* et *f'* (*fig.* 8), puis en faisant glisser la pointe d'un crayon *c* sur le papier, de manière à conserver le fil toujours tendu. La pointe du crayon est dans toutes ses positions au sommet d'un triangle *f c f'*, qui a pour base la distance des deux épingles, et pour côtés les deux portions du fil. Les points où sont fixées les épingles sont les *foyers;* le crayon décrit l'ellipse, et les deux *rayons vecteurs* sont les deux portions du fil *f c* et *f' c*, dont la somme est constante. L'ellipse, entre ses deux foyers, a aussi un centre *o*, c'est-à-dire, un point autour duquel tous les points de la courbe sont symétriquement placés. La dis-

tance $o\,f$ du centre au foyer se nomme l'*excentricité;* c'est par elle qu'on mesure l'aplatissement de l'ellipse ; elle a pour valeur 0,0168 du demi-grand axe $o\,c$ dans l'orbite de la Terre. C'est dans l'école de Platon que l'on a commencé à s'occuper d'une manière suivie des propriétés des sections coniques ; mais ce n'est que vingt siècles après que l'on a su que ces courbes, considérées jusque-là sous le rapport de la théorie, étaient les trajectoires des corps planétaires. C'est ainsi que beaucoup de théories, regardées comme stériles d'abord, ont trouvé ensuite les applications les plus heureuses. Le reproche de la prétendue aridité de beaucoup de spéculations mathématiques ne provient que de notre ignorance sur les usages qu'on peut en tirer.

Kepler trouva ensuite que *les rayons vecteurs décrivent des aires proportionnelles aux temps ;* de sorte que si la Terre a employé un certain temps à se transporter de c en c', et quatre fois ce même temps à se transporter de c' et c'', la surface $c'\,f\,c$ sera le quart de la surface $c'\,f\,c''$, le Soleil étant en f. On peut aussi déduire de là que si les surfaces décrites, $c\,f\,c'$ et $c''\,f\,c'''$, sont égales, la Terre a employé autant de temps à décrire l'arc $c\,c'$ qu'à décrire l'arc $c''\,c'''$: mais si l'on regarde les secteurs $c\,f\,c'$ et $c''\,f\,c'''$ comme des secteurs circulaires équivalens, les rayons $c\,f$ et $c''\,f$ étant inégaux, les arcs doi-

vent l'être aussi, et plus la distance de la Terre fc augmente, plus sa vitesse $c c'$ doit diminuer. De là ce principe, qui n'est qu'une conséquence de la loi de Kepler, que la vitesse de la Terre est d'autant plus grande, que la Terre est plus voisine du Soleil. Quand la Terre est dans sa plus grande proximité du Soleil, on dit qu'elle est au *périhélie;* dans le point diamétralement opposé, elle se trouve à l'*aphélie* ou à son plus grand éloignement. Ces deux points, situés aux extrémités du grand axe de l'orbite solaire, se nomment encore les *absides.*

Enfin, la troisième loi de Kepler est que *les carrés des temps des révolutions sont entre eux comme les cubes des grands axes des orbites.* Cette loi est précieuse sous le rapport que, connaissant le temps de la révolution de la Terre et la moyenne distance de cet astre au Soleil, on peut, par une simple proportion, déterminer la distance moyenne d'une autre planète, quand on connaît déjà le temps de sa révolution.

Les trois principes précédens, reconnus d'abord par les résultats de longues observations, ont été confirmés depuis par les théories mathématiques appliquées à la pesanteur, et vérifiés sur quelques planètes nouvelles, dont Kepler ignorait l'existence. Ils portent avec eux tous les caractères des vérités importantes, c'est-à-dire, que loin de présenter des difficultés pour expliquer les résul-

tats de l'observation, ils les préviennent et répandent le plus grand jour sur la connaissance des forces qui régissent notre système planétaire.

De l'anomalie et de l'équation du temps.

Comme la Terre s'écarte peu d'une vitesse moyenne uniforme, on lui suppose d'abord ce mouvement régulier, puis on fait aux résultats les petites corrections nécessaires. Ainsi, l'on conçoit un astre fictif qui décrirait uniformément autour du Soleil *s* (*fig.* 9) une circonférence *a b b' a*, dont le rayon serait égal à la distance périhélie *a s*, pendant le temps que la Terre emploierait à faire sa révolution annuelle *a t a' a*. Alors l'astre fictif et la Terre, en partant ensemble du point *a*, décrivent des secteurs proportionnels aux temps, le premier d'une manière uniforme, l'autre d'une manière inégale; de sorte que la Terre ayant en partant sa plus grande vitesse, devance d'abord l'astre fictif; mais son mouvement se rallentissant à mesure qu'elle s'éloigne du périhélie, il arrive un moment où leur vitesse est égale : ensuite ces deux corps se rapprochent et finissent par arriver ensemble dans la direction *s b' a'* de l'aphélie. Le contraire a lieu en revenant vers le périhélie; alors c'est l'astre fictif qui devance la Terre, jusqu'à ce qu'ils arrivent ensemble en *a* au point de départ.

Si l'on suppose deux rayons vecteurs, menés à un instant quelconque du centre du Soleil aux deux corps que nous venons de considérer, l'angle *t s b*, formé par les deux droites, sera d'abord nul au périhélie : il augmentera ensuite jusqu'à un certain terme, où il atteindra sa plus grande valeur ; puis il diminuera jusqu'à l'aphélie, où il deviendra nul de nouveau : de là jusqu'au périhélie, il variera en sens contraire par les mêmes degrés. Cet angle est donc la correction qu'il faut faire au mouvement circulaire pour avoir le mouvement elliptique de la Terre : depuis le périhélie jusqu'à l'aphélie, on l'ajoute au mouvement *moyen* de la Terre pour avoir le mouvement *vrai ;* depuis l'aphélie jusqu'au périhélie, on doit le retrancher. Cet angle se nomme l'*équation de l'orbite* ou du *centre*, parce que les astronomes ont coutume de nommer *équation* ce qu'il faut ajouter ou ôter aux mouvemens moyens pour avoir les résultats véritables. Le maximum de l'équation du centre est d'environ 2 degrés.

L'angle *a s t* se nomme *anomalie vraie*, et l'angle *a s b*, *anomalie moyenne ;* ainsi, par *anomalie*, on entend l'angle formé par le rayon vecteur d'un astre avec sa distance périhélie. Les astronomes ont pendant long-temps compté les anomalies à partir de l'aphélie de l'orbite. On voit sans peine que l'équation du centre n'est rien

que la différence entre l'anomalie vraie et l'anomalie moyenne.

On nomme encore *unomalie excentrique*, la distance à l'aphélie, vue du centre du cercle circonscrit à l'ellipse, pour le point du cercle qui a même ordonnée que la planète.

Le temps qu'indiquent nos pendules ordinaires est régulier comme la marche de l'astre fictif dont nous avons parlé précédemment : il ne peut donc pas indiquer rigoureusement la marche apparente du Soleil. Imaginons, par exemple, deux pendules, dont l'une compte le temps moyen d'après l'astre fictif, et l'autre le temps vrai d'après le Soleil ; supposons, de plus, que ces deux pendules soient d'accord à l'instant du périhélie, le lendemain, ces pendules ne pourront plus l'être, et l'une sera en avance par rapport à l'autre : cette avance se nomme l'*équation du temps ;* elle peut aller jusqu'à 16' 17". Une pendule qui marquerait à-la-fois le temps vrai et le temps moyen, serait une *pendule à équations ;* ses deux aiguilles s'accorderaient quatre fois par an pour marquer la même heure. Il faut bien observer que l'équation du temps ne se calcule pas seulement d'après l'équation du centre, il faut encore avoir égard à l'obliquité de l'écliptique.

De la nature du Soleil.

Le Soleil se présente à nos regards comme un corps sphérique, lumineux par lui-même, et dardant ses rayons de toutes parts dans l'immensité des cieux. Plusieurs philosophes anciens le regardaient déjà comme une masse enflammée : les modernes se sont partagés entre deux opinions principales ; les uns, admettant le système de l'*émanation*, ont pensé qu'il lançait effectivement une matière lumineuse ; d'autres, regardant comme plus probable le système des *ondulations*, ont regardé l'espace comme rempli d'une substance très-rare et éminemment élastique, qu'ils nomment *éther ;* cet éther, alors, par des mouvemens vibratoires qu'il transmet fort rapidement, produit sur l'œil la sensation de la lumière, à-peu-près comme les vibrations de l'air produisent dans l'oreille le phénomène du son.

Quand l'œil, armé du télescope, put examiner plus en détail les différentes parties du disque du Soleil, on ne tarda pas à avoir de nouvelles données sur la nature de cet astre. Le P. Scheiner, jésuite, et Galilée, reconnurent en même temps quelques *taches* à sa surface, et cette observation donna naissance à une découverte précieuse pour l'astronomie. On voyait que ces taches se déplaçaient lentement sur la surface du dis-

que, et qu'elles diminuaient d'étendue en approchant des bords; on en conclut que le Soleil était un corps sphérique, et cette conclusion acquit plus de probabilité encore quand on vit reparaître ces mêmes taches sur le bord opposé.

Par le temps qu'employaient les taches à revenir au lieu où on les avait aperçues d'abord, on jugea que le Soleil avait un mouvement de rotation sur lui-même, analogue à celui de la Terre, et qui s'accomplissait dans vingt-cinq jours et demi environ. L'axe de rotation est faiblement incliné sur l'écliptique, et l'*équateur solaire* forme, avec ce dernier plan, un angle de près de 7° et un tiers. Les taches ne se montrent guère que dans le voisinage de cet équateur, et dans une zône d'environ 68° ; elles couvrent quelquefois une étendue plus grande que celle de la Terre. On a pensé, pendant assez long-temps, que leur apparition pouvait avoir des influences sur notre Terre ; mais depuis qu'on en a vu pendant les années les plus productives comme pendant celles qui l'étaient le moins, on est revenu de cette opinion.

On observe aussi quelquefois à la surface du disque solaire des *facules* ou bien des espaces plus brillans que les autres ; Buffon regardait ces apparences lumineuses comme des scories qu'il attribuait à des irruptions de volcans immenses ; Herschel pensait que le Soleil était

enveloppé d'une atmosphère lumineuse qui, de temps en temps, laissait des vides dans certains endroits, et permettait de voir le globe opaque et obscur de cet astre, et qui parfois se condensait et formait les facules dont nous venons de parler. Quelques astronomes ont pensé aussi que le Soleil pouvait bien être entretenu dans un état continuel d'ignition par des courans électriques, et paraître toujours lumineux sans rien perdre de son volume, à-peu-près comme le charbon que le physicien expose dans le courant d'une pile. Les partisans du système de l'émission admettent une perte de volume, mais insensible pour nous; car, en supposant même que le globe solaire diminue journellement, au point que son diamètre se raccourcisse de deux pieds en vingt-quatre heures, il faudrait au moins douze mille ans avant que la diminution devînt sensible sur le diamètre apparent. Il ne faut donc pas recourir, comme le faisait Buffon, à la supposition que cet immense foyer est alimenté par des comètes qui viennent s'y précipiter de temps en temps.

Bouguer avait conclu de ses expériences sur l'intensité de la lumière du Soleil, que les bords de cet astre éclairaient moins que le centre, et il supposait, d'après cette observation, que le Soleil était environné d'une atmosphère semblable à la nôtre qui, par son opacité, affaiblissait les

rayons lumineux; mais des expériences très-délicates de M. Arago ont prouvé, depuis, que tous les points du disque solaire éclairaient également, et que par conséquent une pareille hypothèse ne pouvait subsister.

D'après M. Laplace, la masse du Soleil est 337,102 fois celle de la Terre; et, comme d'ailleurs le volume de ce même astre est environ 1,331,000 fois celui de notre globe, on peut en conclure que la densité du Soleil n'est qu'environ le quart de la densité de la Terre. Quoique le Soleil emploie 25 fois plus de temps que notre globe à tourner sur son axe, cependant son diamètre étant près de 110 fois plus grand, la vitesse de rotation des points de son équateur doit être plus que quadruple de celle des divers points de notre équateur terrestre.

Les observations faites sur les étoiles tendent à prouver, comme nous l'avons déjà dit, que le Soleil, indépendamment de sa révolution autour de son axe, a un mouvement de translation dans l'espace comme la Terre. Nous ignorons absolument quelle est la nature de sa trajectoire, on a lieu de croire seulement que sa direction est vers le genou d'Hercule : une série d'observations exactes, continuées pendant un grand nombre de siècles, pourront seules fournir les élémens nécessaires pour connaître les lois de ce déplacement.

6.

On n'a pas pu expliquer encore d'une manière satisfaisante un phénomène qui accompagne ordinairement le lever ou le coucher du Soleil, surtout vers l'equinoxe du printemps; c'est celui de la *lumière zodiacale*, qui n'est qu'une faible lumière dont la couleur est blanchâtre : sa figure apparente est celle d'un fuseau dont la base s'appuie sur l'équateur solaire, et dont la longueur paraît quelquefois soustendre un angle de plus de cent degrés. Quelques astronomes ont voulu expliquer sa nature par l'hypothèse d'une atmosphère solaire.

Nous avons dit que le phénomène de la lumière zodiacale est surtout apparent vers l'équinoxe du printemps. Le fuseau, après le coucher du Soleil, se trouve alors dirigé vers la constellation du Taureau; à l'autre équinoxe, on le remarque surtout avant le lever du Soleil.

Quand on fait des observations sur le Soleil, il faut avoir la précaution d'employer des verres colorés pour éteindre la trop grande vivacité de sa lumière. Dans les observatoires, on a des verres colorés de différentes épaisseurs qui servent à cet usage. On emploie aussi des diaphragmes qui laissent pénétrer moins de rayons dans l'intérieur de la lunette.

CHAPITRE III.

DE LA LUNE. ☾

Du Mouvement propre et des Phases de la Lune.

Après le Soleil, la Lune est le corps céleste qui, par sa grandeur, et les phénomènes singuliers qu'il présente dans son cours, mérite le plus de fixer notre attention. Placé dans le voisinage de la Terre, dont il suit la destinée, il circule autour de cette planète, à-peu-près de la même manière que la Terre circule autour du Soleil. C'est cette dépendance qui lui a fait donner le nom de *satellite* de notre globe. La Lune est entièrement sous son influence, et lui fait éprouver à son tour des réactions dont nous étudierons plus loin les effets.

Il suffit d'observer la Lune pendant vingt-quatre heures, pour reconnaître qu'elle a, comme le Soleil, un mouvement propre en ascension droite, et un autre en déclinaison; ces deux mouvemens sont très-appréciables, surtout celui en ascension droite, puisqu'il est treize fois plus rapide que le mouvement apparent du Soleil. Si l'on suppose qu'une étoile, le Soleil et la Lune se présentent en même temps au méridien, le lendemain, lorsque l'étoile reparaîtra dans le même plan, déjà le Soleil et la Lune se seront

portés vers l'orient ; le Soleil aura décrit un arc de près d'un degré, et la Lune un arc dont la valeur moyenne est de 13°10'35" ; le surlendemain, ces distances se trouveront doublées, et ainsi de suite. Il arrivera de là que la Lune, après avoir fait une révolution entière dans le Ciel, reviendra au même méridien où se trouve l'étoile, après 27j,321583. Cette révolution, par rapport à une étoile, se nomme *sidérale ;* mais alors le Soleil aura déjà décrit vers l'orient un arc de près de vingt-sept degrés : la Lune, pour rejoindre cet astre, devra donc employer à-peu-près deux jours de plus, et elle viendra en *conjonction* avec lui, après 29j,530588 5 ; cette dernière période constitue un *mois lunaire*, ou une *révolution synodique*, ou bien encore une *lunaison*.

Nous venons de voir que la Lune a deux mouvemens propres, l'un en déclinaison, l'autre en ascension droite ; si l'on compose ces deux mouvemens, comme nous l'avons fait pour le Soleil, on trouvera que la Lune se meut comme si elle obéissait à une force unique, toujours dirigée dans un même plan. L'orbite lunaire est donc une courbe plane, et elle est inclinée sur l'orbite de notre Terre qu'elle rencontre en deux points ; ces points sont les *nœuds* de la Lune, et la droite qui les joint est la *ligne des nœuds*. La Lune est donc, dans l'espace d'un mois environ, alternativement plus haut et plus bas que le plan de

l'écliptique, et deux fois elle se trouve dans ce dernier plan. Quand elle perce l'écliptique pour s'élever au-dessus, on dit qu'elle est à son nœud *ascendant* ☊, et, quinze jours après, elle est à son nœud *descendant* ☋.

L'orbite de la Lune est inclinée sur l'orbite de la Terre, sous un angle de 5,°15. Cet angle n'est pas toujours tourné dans le même sens, car l'observation nous apprend que la ligne des nœuds se dérange lentement, et décrit, dans l'espace de dix-neuf jours à-peu-près, un angle d'un degré, ou bien plus exactement 19,°3286 par an. Ce mouvement est *rétrograde*, ou contre l'ordre des signes; de sorte que la ligne des nœuds va successivement rencontrer l'écliptique en ses différens points et en sens contraire du mouvement apparent du Soleil, c'est-à-dire, d'orient en occident, comme semblent marcher les étoiles par le mouvement diurne. La ligne des nœuds a fait ainsi une révolution entière dans le Ciel après 6788j,54019, ou après dix-huit ans et demi environ. On connaît la cause du déplacement de la ligne des nœuds; nous aurons soin d'en parler plus tard, et de rendre compte en même temps de quelques autres inégalités que la théorie explique également bien. Il résulte aussi, de ce qui précède, que quand le Soleil et la ligne des nœuds se sont rencontrés dans un lieu du Ciel, la rencontre se fait encore avant que le

Soleil reparaisse au même lieu, ou bien avant une année révolue ; car les nœuds semblent aller au-devant du Soleil. La rencontre se fait au bout de 346j61963, et cette période se nomme *le temps de la révolution synodique du nœud.*

Une des circonstances les plus singulières que présente la Lune dans son cours, c'est la manière dont elle est éclairée dans ses différentes positions relativement au Soleil. Il ne faut pas une longue suite d'observations pour s'apercevoir que ce corps ne brille que d'un éclat emprunté. La partie éclairée de son disque est en effet toujours tournée du côté du Soleil ; et la lumière que nous recevons, comme les anciens l'avaient déjà fort bien reconnu, n'est qu'une lumière réfléchie : de là naissent les *phases* de cet astre. Quelque temps après que le Soleil et la Lune ont passé en même temps au méridien (fig. 10), on voit le disque de ce dernier astre faiblement éclairé sur le bord, et présentant l'aspect d'un *croissant* dont les pointes sont opposées au Soleil. Peu à peu la partie éclairée devient plus visible ; et quand la Lune est à environ 90° de distance du Soleil en *l''*, elle se trouve à son *premier quartier*, ou bien en *quadrature* □. On voit alors la moitié de son disque, et l'on dit qu'elle est *dichotome*. La Lune, continuant à s'éloigner du Soleil, arrive en *l'''*, à l'*opposition* ☍, ou à 180 degrés de cet astre : dans cette posi-

ion, la partie illuminée de son disque est entièrement visible pour notre Terre, qui se trouve entre elle et le Soleil. C'est cet instant que l'on nomme celui de la *pleine Lune*. A mesure que l'astre continue à avancer dans son orbite, la partie éclairée de son disque commence à décroître ; en l^{iv}, la moitié seulement est visible, et la Lune est à son *dernier quartier*, ou à son *déclin*. La distance ll^{iv} continuant à diminuer, la Lune commence à offrir encore l'aspect d'un croissant ; mais cette fois, les cornes, au lieu de diverger à gauche du spectateur tourné vers le Soleil, sont dirigées dans un sens opposé. Enfin le croissant se rétrécit de plus en plus, et finit par être invisible quand la Lune revient en *conjonction* ☌, à sa position primitive. On a alors la *nouvelle Lune*, ou la *néoménie*, et l'astre disparaît entièrement par sa proximité du Soleil.

La conjonction et l'opposition, ces deux situations si remarquables de la Lune par rapport au Soleil, sont encore nommées les *syzygies*, comme l'on a nommé *quadratures* les deux positions intermédiaires. Dans les quadratures, la Lune étant à près de 90° du Soleil, passe au méridien vers six heures du soir ou vers six heures du matin. A l'époque de la néoménie, les deux astres passent en même temps au méridien ; mais lors de la pleine Lune, ils y passent à douze heures de

distance. Vers cette époque, on peut voir en même temps ces deux astres dans le voisinage de l'horizon, et diamétralement opposés; l'un, après avoir fourni sa carrière, s'apprête à descendre, et à céder à l'autre l'empire de la lumière.

On peut facilement juger, par les phases de la Lune, de l'endroit du Ciel où se trouve le Soleil, lors même que cet astre est plus bas que l'horizon. Si la Lune est pleine en effet, le Soleil se trouve à-peu-près sur le prolongement du rayon visuel mené de la Lune vers nous: dans toute autre circonstance, la Lune étant inégalement éclairée, son disque peut néanmoins, dans un sens, être partagé en deux parties symétriques par un diamètre. Ce diamètre, prolongé dans le Ciel, va passer par le centre du Soleil, et l'on juge du prolongement que l'on doit prendre par l'étendue de la partie éclairée du disque.

On a nommé *âge* de la Lune ou *épacte astronomique* le temps écoulé depuis la dernière néoménie, le 31 décembre, à midi, et le 1er janvier, à midi, pour les années bissextiles. En 1826, par exemple, l'épacte était 22; ce qui veut dire que le 31 décembre 1825, à midi, plus de vingt-deux jours étaient écoulés depuis la dernière néoménie; et comme l'on compte 29j,5305885 par lunaison, la première nouvelle Lune devait arriver le 8 janvier, au matin.

S'il existe des habitans à la surface de la Lune,

il devient évident, d'après ce qui précède, que la Terre, en réfléchissant la lumière du Soleil, doit avoir aussi ses phases; mais elles se succèdent dans un ordre opposé à celles de la Lune. Ainsi, lors de la néoménie, la Terre doit paraître *pleine*, ou bien tout-à-fait illuminée pour un habitant lunaire placé en *l*. Hors de la pleine Lune, au contraire, l'habitant lunaire ne doit voir que la partie de notre globe qui est dans l'ombre. Ainsi les deux parties éclairées de ces astres sont à-peu-près *complémentaires* l'une de l'autre, c'est-à-dire, que la partie que nous voyons éclairée sur le disque lunaire, est justement celle qui doit paraître dans l'ombre au même instant sur notre Terre; et au contraire, ce qui nous paraît dans l'ombre sur le disque lunaire, doit paraître éclairé sur notre globe aux yeux d'un habitant de la Lune. La partie de ce dernier astre qui nous paraît obscurcie, n'est donc pas entièrement privée de lumière, puisqu'elle reçoit celle qui est réfléchie par la Terre. Cette lumière réfléchie doit même, jusqu'à un certain point, suppléer à l'absence de la lumière solaire, comme il arrive pour nous vers les époques de la pleine Lune. Aussi la partie obscure du disque n'est-elle pas entièrement invisible, surtout lorsque la Terre doit paraître pleine à cet astre, vers l'instant de la néoménie. La faible clarté que l'on aperçoit alors mieux qu'à toute

autre époque, a reçu le nom de *lumière cendrée.*

Distance et grandeur de la Lune.

Les premiers essais qui aient été faits dans l'antiquité pour déterminer la distance de la Lune relativement au Soleil, sont dus à Aristarque de Samos, qui vivait environ trois siècles avant l'ère chrétienne. La méthode qu'il employa est fondée sur la considération des phases de la Lune : nous la ferons connaître ici, comme un monument du génie de cet astronome.

Lorsque la Lune, vers les quadratures, est dichotome, ou dans une position telle que le plan du cercle qui sépare la partie éclairée de la partie obscure, passe par nos yeux ; alors la droite tl'' (fig. 10), qui joint le point d'observation au centre de la Lune, est perpendiculaire à la droite $l''S$ qui joint le centre de la Lune au centre du Soleil. On a donc un triangle rectangle qui a pour sommets le point d'observation et les centres des deux astres. Mais on peut mesurer l'angle $l''tS$, sous lequel on aperçoit de la Terre les centres du Soleil et la Lune. On connaît donc alors un angle aigu du triangle rectangle $l''tS$: c'est tout ce qu'il faut pour pouvoir construire un triangle qui lui soit semblable ; et la géométrie élémentaire offre de plus le moyen de déterminer le rapport des côtés $l''t$ et tS,

c'est-à-dire, le nombre de fois que la distance de la Lune à la Terre est contenu dans la distance du Soleil à la Terre. Aristarque trouva, par cette méthode, que la Lune est environ vingt fois moins éloignée que le Soleil. Ce moyen, qui d'ailleurs n'est pas susceptible d'une bien grande exactitude, pourra paraître ingénieux pour le temps où il a paru; mais le résultat, comme nous allons le voir, est loin d'offrir une approximation suffisante.

La méthode employée par le célèbre astronome Hipparque, qui florissait environ un siècle après, présente beaucoup plus de précision. Elle est fondée sur l'observation de la parallaxe et de la connaissance du rayon terrestre; elle est encore employée de nos jours. Nous avons dejà eu occasion de l'exposer, en parlant de la distance du Soleil; nous croyons donc inutile d'y revenir.

On a trouvé que la parallaxe horizontale de la Lune, ou l'angle sous lequel on apercevrait du centre de cet astre un rayon moyen de la Terre, varie entre les limites de 53',85 et 61',48; ce qui donne pour valeur moyenne de cette parallaxe 57',67. Or, en divisant le rayon de la Terre par cette valeur, comme nous l'avons fait pour le Soleil, on trouve pour *distance moyenne de la Lune à la Terre à-peu-près* 60 *rayons terrestres*, ou bien au-delà de 85,000 lieues. Mais nous avons

déjà vu que le Soleil est éloigné du centre de la Terre de la distance de 24,096 rayons. Il est conséquemment plus de 400 fois plus éloigné que la Lune ; ce qui est loin du résultat d'Aristarque, que nous avons fait connaître plus haut.

Le diamètre apparent de la Lune, en changeant de grandeur, nous a également appris que cet astre se rapprochait et s'éloignait successivement de nous. Ce diamètre peut varier de 29'365 à 33',516. Nous avons déjà vu que les variations du diamètre apparent du Soleil ont, pour termes extrêmes, 31',516 et 32',593. La Lune doit donc nous paraître alternativement plus grande et plus petite que cet astre. D'une autre part, la parallaxe moyenne de la Lune est de 57',67 : ainsi à la même distance où cet astre nous paraît sous un angle moyen de 31',441, la Terre serait vue sous un angle de 115',34, puisque le diamètre de la Terre est double de la parallaxe. On pourra donc dire que le diamètre de la Lune est contenu dans le diamètre de la Terre, comme le nombre 31,44 est contenu dans 115,34. On voit par là que *le diamètre lunaire est à-peu-près les $\frac{3}{11}$ du diamètre de notre globe.*

Ce qui précède nous montre que le rayon de la Lune est de 391 lieues, et sa circonférence de près de 2,500 lieues, en supposant ce globe sphérique. La surface ne serait que le 13e de celle de notre Terre, et le volume serait le 49e. Nous

avons déjà dit, en parlant du Soleil, qu'un homme qui pourrait parcourir 100 lieues par jour, devrait employer environ quinze jours à aller au centre de la Terre, et trois mois pour faire le tour du globe ; ce même homme emploierait deux ans et demi à aller jusqu'à la Lune. Huit jours lui suffiraient pour parcourir le diamètre lunaire, et vingt-cinq pour faire le tour de la Lune. Enfin, au bout de mille ans environ, ce même homme arriverait au Soleil ; et il lui faudrait vingt-sept ans et demi pour en faire le tour. S'il s'agissait d'aller jusqu'à l'étoile fixe, probablement la plus rapprochée, il lui faudrait plus de cent millions d'années.

Nous pourrions estimer les distances relatives d'une autre manière encore. On sait que le son parcourt sur Terre environ 332 mètres par seconde, ce qui fait à-peu-près une lieue en 13" ; d'après cela, si le bruit d'un canon était assez fort pour se propager à des distances illimitées, sans éprouver d'obstacles, ce bruit serait entendu par un antipode après plus de deux jours, et par un *sélénite* ou habitant de la Lune, après deux mois, et enfin, il serait entendu sur le Soleil après 66 ans et demi.

On peut se faire une idée assez simple de la grandeur du Soleil relativement à la Lune et à notre Terre, en se rappelant ce qui a été dit de ces trois astres. La Lune est à 60 rayons de notre

Terre, et le rayon du Soleil vaut 110 rayons terrestres. Il en résulte donc que si le dernier astre avait son centre où est celui de la Terre, la Lune serait comprise dans son intérieur et elle ne se trouverait pas même sur le milieu de son rayon : de sorte qu'en allant du centre du Soleil vers la surface, en arrivant à la Lune, on ne serait pas même à moitié chemin. On peut par-là se faire une idée de ce qu'est la Terre, et conséquemment la Lune, relativement au globe immense du Soleil. C'était cependant pour la Terre que l'on supposait que ce globe immense devait se mouvoir avec toute la voûte étoilée, et c'est pour avoir émis une opinion contraire que Galilée, à l'âge de soixante-dix ans, se vit enfermer dans les prisons de l'inquisition.

Du mouvement de rotation et de translation de la Lune.

Si nous rapprochons maintenant toutes les notions précédentes nous trouverons que pendant que la Terre tourne autour du Soleil, elle conserve toujours la Lune dans son voisinage : la distance moyenne de ce dernier astre n'étant que de 60 rayons terrestres, et les limites extrêmes qui correspondent au plus grand et au plus petit diamètre apparent, étant de près de 64 à 56 rayons. Il faut donc conclure de-là que la Terre, en faisant sa révolution annuelle dans son orbite,

emporte avec elle la Lune. Les phases nous avaient déjà appris, d'une autre part, que la Lune tournait autour de la Terre ; et les variations du diamètre apparent, que ses distances n'étaient pas toujours les mêmes. En tenant compte du déplacement de notre globe, et en construisant chaque jour la direction et la distance de la Lune, on trouve que cet astre, conformément à la première loi de Kepler, décrit, par rapport aux étoiles, dans l'espace de 27j,32160, une ellipse, au foyer de laquelle se trouve le centre de la Terre. L'excentricité est 0,0548553, elle est conséquemment plus forte que pour l'orbite de la Terre, et annonce que cette dernière courbe ressemble plus à une circonférence que la première. On dit que la Lune est à l'*apogée* ou bien au *périgée*, selon qu'elle se trouve à sa plus grande ou bien à sa plus petite distance de notre globe.

La Lune, dans l'espace de près de 27 jours, passe donc par toutes les longitudes, depuis 0° jusqu'à 360°. On a calculé des tables qui donnent sa position dans le Ciel, d'avance et pour un instant quelconque. On peut savoir ainsi l'époque à laquelle sa longitude devient égale à celle du Soleil, c'est-à-dire, l'époque de la néoménie. On peut aussi déterminer l'instant de la pleine Lune, puisqu'il suffit de chercher l'instant où les longitudes des deux astres différens de 180 de-

grés. La différence de deux longitudes lunaires, divisée par les heures écoulées de l'une à l'autre, se nomme le *mouvement horaire*, où l'arc décrit en une heure dans le sens de l'écliptique. On peut, pour des intervalles de temps assez courts, regarder ce mouvement comme uniforme ; mais il y aurait erreur à opérer de même pour de plus grands intervalles de temps. C'est aussi de cette manière que l'on estime le mouvement horaire du Soleil et des autres corps célestes.

On calcule les anomalies moyenne et vraie pour la Lune, comme nous l'avons indiqué pour le Soleil, c'est-à-dire, qu'on nomme ainsi les angles sous lesquels on verrait du centre de la Terre les distances du périgée à la Lune et à un astre fictif, mu d'un mouvement uniforme. La différence de l'anomalie vraie et de l'anomalie moyenne forme, comme nous l'avons dit, l'*équation du centre :* son maximum, pour la Lune, est de 6°,29847. La Lune a des vitesses fort inégales dans son orbite, en raison de sa proximité à la Terre. Au périgée, cette vitesse est la plus grande, tandis qu'elle est la plus petite à l'apogée. En vertu de sa vitesse moyenne, cet astre décrit en une minute un arc de 14 lieues autour de la Terre. Nous avons vu que, pendant le même temps, la Terre décrivait autour du Soleil un arc de plus de 400 lieues ; et, comme la Terre emporte avec elle la Lune dans son mouvement de

translation, cette dernière vitesse doit être combinée avec la précédente, pour avoir la véritable vitesse du globe lunaire.

L'analogie devait naturellement porter les astronomes à rechercher si la Lune n'avait point un mouvement de rotation sur son axe comme la Terre, indépendamment d'un mouvement de translation dans l'espace. Ce mouvement a effectivement été reconnu par l'observation des taches, comme pour le Soleil ; et l'on a vu que la Lune tournait constamment la même face vers nous, de telle manière que nous ne pouvons pas même soupçonner ce qui se trouve sur l'autre hémisphère toujours invisible. Pour bien concevoir ce mouvement de rotation, imaginons un habitant lunaire situé, par exemple, dans l'hémisphère visible, par rapport à nous, lors de la néoménie ; ce sélénite se trouvera privé des rayons du Soleil, et il aura ce que nous nommons la nuit : quinze jours après, lors de la pleine Lune, il verra le Soleil, et il fera nuit pour ses antipodes. Entre ces deux positions principales, il aura le Soleil, plus ou moins élevé sur son horizon ; mais il est aisé de comprendre que la succession d'un jour et d'une nuit, qui se fait en vingt-quatre heures pour nous, doit se faire pour un sélénite dans l'espace de $29^j,5305885$. Ainsi, considéré par rapport à un corps fixe dans l'espace, et non par rapport à la Terre, le globe lunaire fait une

révolution sur son axe dans le même temps qu'il emploie à parcourir son orbite. Cet axe forme un angle très-grand sur l'écliptique, de manière que l'équateur lunaire prolongé coupe l'orbite de notre Terre sous un angle d'un degré et demi. Il ne faut pas confondre cette ligne d'intersection avec la ligne des nœuds, ou bien l'intersection des deux orbites. Il est à remarquer néanmoins que ces deux lignes sont toujours parallèles. *Il faut donc concevoir l'orbite de la Terre, l'orbite de la Lune et l'équateur de la Lune, comme trois plans qui se coupent mutuellement selon trois parallèles, et forment un prisme triangulaire, dont la plus grande face est sur l'écliptique.*

Nous savons qu'un point de l'équateur terrestre, en vertu de la révolution diurne, décrit en une minute un arc de près de 6,3 lieues : en ayant égard à la grandeur d'un grand cercle de la Lune et à la durée d'une révolution autour de l'axe, on trouverait qu'un point de l'équateur lunaire ne décrit dans le même temps qu'un arc de près d'un seizième de lieue.

Essayons maintenant de nous faire une idée juste des mouvemens combinés de la Terre et de la Lune autour du Soleil. Pendant que la Terre décrit, dans l'espace d'une année, une ellipse au foyer de laquelle se trouve le Soleil, elle fait 365 révolutions sur elle-même, et revient à son point de départ, après avoir fait le

quart environ de la 366e révolution. L'axe, autour duquel se font ces révolutions, forme, avec l'écliptique, un angle de près de 66° et demi. La Terre, dans son mouvement de translation, emporte avec elle la Lune, qui la suit en décrivant, par rapport aux étoiles, une ellipse dans l'espace de 27^j,32166. Cette ellipse, plus excentrique que celle de la Terre et environ 400 fois moindre, est inclinée sur elle sous un angle de 5°,146 ; de sorte que la Lune est tantôt plus haut, tantôt plus bas que le plan de l'écliptique. Pendant que la Lune circule ainsi autour de la Terre, elle a, comme ce dernier astre, indépendamment de son mouvement de translation, un mouvement de rotation autour d'un axe, qui fait avec l'écliptique un angle de 88° et 31', d'après Mayer. Mais le mouvement de rotation de la Lune a cela de remarquable, qu'il est d'égale durée avec le mouvement de translation autour de la Terre. On doit aussi remarquer que l'équateur de la Lune et l'orbite de ce même astre coupent toujours l'écliptique selon deux droites parallèles. Nous reconnaissons donc au Soleil, à la Terre et à la Lune deux mouvemens principaux, l'un de translation dans l'espace, l'autre de révolution autour d'un axe. Seulement nous ne connaissons pas les lois du mouvemens de translation du Soleil. Nous ignorons même si cet astre tourne autour d'un autre corps, comme la Terre tourne autour de lui

et comme la Lune tourne autour de la Terre. L'analogie pourrait nous porter à le supposer.

De la libration de la Lune.

Nous avons déjà eu occasion de parler des taches qu'on aperçoit à la surface de la Lune : quelques-unes sont constamment visibles ; d'autres, vers le bord du disque, disparaissent et reparaissent alternativement, comme si le globe lunaire se balançait un peu sur son centre. Les astronomes ont donné à ce phénomène le nom de *libration de la Lune.* Nous allons tâcher d'en expliquer les principales circonstances.

Supposons un rayon vecteur mené du centre de la Terre au centre de la Lune : si ce dernier astre n'avait pas de mouvement de rotation, le rayon vecteur, par le seul effet d'une révolution autour de la Terre, rencontrerait successivement tous les points qui passent au centre apparent du disque lunaire, et tracerait une circonférence de grand cercle sur la surface de cet astre ; mais, tandis que le rayon vecteur décrit cette circonférence, le globe lunaire tourne sur lui-même, et ramène constamment vers nous le même hémisphère. Si ces deux mouvemens étaient exactement uniformes, l'un détruirait l'effet de l'autre ; mais si le mouvement de rotation de la Lune est seul sensiblement uniforme, tandis

que le mouvement de translation est variable; le globe lunaire paraîtra faire, de part et d'autre du rayon vecteur, de petites oscillations correspondantes aux inégalités des deux mouvemens. L'effet de ces oscillations sera de nous cacher et de nous montrer tour-à-tour quelque partie de sa surface. Cette partie du phénomène a reçu le nom de *libration en longitude :* elle a été expliquée d'abord par Hévélius et Newton; et puis d'une manière beaucoup plus complète, par le célèbre Cassini. Galilée observa le premier la libration; mais il ne s'occupa que de la *libration en latitude.* Cette seconde partie du phénomène dépend de l'inclinaison de l'axe de la Lune sur le plan de son orbite. On conçoit, en effet, que par l'effet de la rotation de la Lune, certaines taches seront vues tantôt plus haut, tantôt plus bas que son orbite, et que de la Terre on verra tantôt l'un des pôles de la Lune, tantôt l'autre; à-peu-près comme du Soleil, on voit alternativement nos deux pôles à cause de l'inclinaison de l'axe terrestre sur l'écliptique.

Enfin, il existe un troisième mouvement oscillatoire apparent, qui est *la libration diurne.* Cette troisième partie du phénomène dépend de la position de l'observateur sur la Terre. Nous avons déjà vu que, pour des astres rapprochés, et surtout pour la Lune, il n'est point indifférent d'observer du centre de la Terre ou de sa surface.

Or, c'est vers le centre de la Terre que la Lune présente toujours le même hémisphère ; nous devons donc voir les choses autrement que si nous y étions placés, excepté quand la Lune est au zénith. Ces variations dépendent de la grandeur de la parallaxe de hauteur, et sont nulles avec elle. Elles se succèdent de plus dans l'intervalle de temps que la Lune est sur l'horizon, c'est même de là que son nom est provenu.

Il existe donc trois causes principales de libration : 1° la rotation uniforme de la Lune sur elle-même, pendant que cet astre se meut inégalement autour de la Terre ; 2° l'inclinaison de l'axe de rotation sur l'orbite lunaire ; 3° la position de l'observateur à la surface de la Terre, au lieu d'être au centre. Le concours de ces trois causes principales ne produit qu'une seule libration totale : encore ce phénomène est purement optique, et n'affecte point le mouvement réel de rotation de la Lune. On peut même en faire entièrement abstraction, en rapportant le mouvement au centre de l'astre.

Nous avons dit que l'on doit au célèbre Cassini la théorie de la rotation réelle de la Lune ; mais ses résultats furent publiés sans aucun détail des observations qui les avaient fait découvrir. L'habile astronome T. Mayer confirma, en 1750, la découverte de Cassini, sur laquelle M. Lalande revint, en 1764, dans les Mémoires de l'Acadé-

mie de Paris. La théorie de la libration de la Lune exerça aussi la sagacité des plus grands géomètres. D'Alembert, Euler, Lagrange, Delaplace, Poisson, s'en occupèrent successivement; et M. Bouvard fit une nouvelle série d'observations, que M. Nicollet discuta, en y ajoutant ses propres recherches.

De la Nature de la Lune.

Placée dans le voisinage de notre globe, la Lune réfléchit vers nous une partie de la lumière que le Soleil lui envoie ; c'est surtout à l'époque de la pleine Lune que cette quantité est la plus grande. Bouguer cependant a trouvé, par ses expériences, que la lumière alors était environ 300,000 fois plus faible que celle du Soleil; aussi, en la rassemblant au foyer des plus fortes lentilles, elle n'exerce pas d'effet sensible sur le thermomètre.

Le volume de la Lune n'est que le quarante-neuvième de celui de la Terre, et l'on a calculé que les densités de ces deux astres sont dans le rapport de 68 à 100; de sorte que la masse de la Lune est 72 fois moindre que celle de notre globe. La grande proximité de la Lune a permis de reconnaître, au moyen de bons télescopes, les aspérités qui se trouvent à sa surface ; on peut même, à l'aide des meilleurs instrumens,

observer ce globe comme si l'on s'en trouvait éloigné de quelques lieues seulement. Aussi l'on connaît sa surface bien mieux que beaucoup de régions de notre Terre ; on ne remarque pas d'aplatissement sensible vers les pôles. Quelques astronomes ont été conduits à ce résultat qu'elle devait être alongée dans le sens du diamètre tourné vers nous ; ils expliquent ainsi pourquoi la même face, à cause de l'inégalité de poids, est toujours penchée de notre côté.

Jusqu'ici les observations n'ont pas pu faire reconnaître l'existence d'une atmosphère autour de la Lune. Les rayons qui viennent des autres astres devraient se trouver déviés en la traversant ; mais l'effet de la réfraction est entièrement inappréciable. On peut donc en conclure que s'il existe effectivement une atmosphère, elle doit être à-peu-près nulle : de là résultent plusieurs conséquences importantes. On doit admettre, par exemple, que la Lune n'a point de liquides à sa surface ; car, s'il en existait, ils se mettraient à l'état de vapeurs. Les liquides de notre globe sont maintenus dans leur état par la pression de notre atmosphère, et la physique nous apprend que si l'on soulevait cette pression, les liquides d'abord se mettraient en vapeurs ; de telle manière que si l'on pouvait anéantir notre atmosphère, elle se trouverait bientôt remplacée par une autre atmosphère, dont la formation ne

cesserait que quand elle serait capable d'exercer une pression équivalente à la première ; car alors cesserait aussi l'évaporation des liquides. Cette absence de liquides et d'atmosphère doit nécessairement s'opposer à la végétation et à l'existence d'êtres qui nous ressemblent. Ainsi, en admettant que la Lune est habitée, il faudrait y supposer des êtres vivans autrement organisés que nous, ce qui ne serait pas invraisemblable.

Nous possédons des télescopes d'une telle force qu'ils permettent de distinguer sur la Lune même de faibles collines; on leur voit projeter dans les différentes phases des ombres plus ou moins alongées. Au moyen des pénombres, on distingue aussi des vallées et des enfoncemens auxquels on a donné diverses dénominations. En général, les aspérités qu'on a pu remarquer par les ombres projetées, paraissent comparativement plus fortes que sur notre globe; il en est auxquelles on donne jusqu'à deux lieues d'élévation. Il existe un grand nombre de cartes de la Lune ; une des plus connues est celle qui a été construite par Dominique Cassini, vers 1680, d'après neuf années d'observations. On conserve à l'Observatoire royal de Paris un recueil de soixante dessins des principales taches, avec les descriptions faites de la main même de cet astronome. La Hire construisit également une grande carte que l'on conserve à Paris, à la

bibliothèque Sainte - Geneviève : depuis, un grand nombre d'astronomes se sont occupés des mêmes travaux, et M. Lohrmann, de Dresde, publie en ce moment une sélénographie d'une exécution qui semble ne laisser rien à désirer.

Nous donnerons ici les noms des principales taches qui sont visibles avec des lunettes ordinaires, et que les astromones observent ordinairement dans les éclipses de Lune. Les premières sont celles qui se rapprochent le plus du centre, les autres sont inscrites à-peu-près par ordre de distance à ce point : nous leur avons conservé les noms de la carte de Cassini.

1 Sinus-Medii.	17 Theophilus.
2 Insula.	18 Mare-Nectaris.
3 Manilius.	19 Fracastorius.
4 Eratosthenes.	20 Pitatus.
5 Copernicus.	21 Mare-Nubium.
6 Dionysius.	22 Bullialdus.
7 Menelaus.	23 Mare-Humorum.
8 Reinoldus.	24 Keplerus.
9 Landbergius.	25 Aristarchus.
10 Archimedes.	26 Mare-Imbrium.
11 Timocharis.	27 Helicon.
12 Menelaüs.	28 Heraclidus.
13 Plinius.	29 Eudoxus.
14 Mare-Serenitatis.	30 Hermes.
15 Mare-Tranquillitatis.	31 Posidonius.
16 Censorinus.	32 Proclus.

Voici maintenant les taches les plus apparentes qui se trouvent vers les bords du disque, en com-

mençant par la partie septentrionale et en allant vers la partie orientale.

1 Plato.	9 Snellius.
2 Harpalus.	10 Petavius.
3 Galileus.	11 Langrenus.
4 Grimaldus.	12 Mare-Fœconditatis.
5 Gassendus.	13 Mare-Crisium.
6 Capuanus.	14 Cleomedes.
7 Schikardus.	15 Messala.
8 Tycho.	16 Aristoteles.

Les observations de Cassini, relatives aux taches de la Lune, sont fort curieuses. Nous en ferons connaître ici quelques-unes, consignées sur la carte réduite. Le 21 octobre 1671, il aperçut à côté de *Gauricus,* petite tache située près de *Tycho*, une espèce de nuage blanchâtre ; et le 25 octobre il en restait encore quelques traces. Le 12 novembre suivant, le même nuage reparut un peu plus loin ; le 5 février 1672, une tache se fit remarquer pour la première fois dans *Mare Crisium*, quoique précédemment et particulièrement la veille, on eût compté avec attention toutes les taches qui se voyent dans cette mer. Le 18 octobre 1673, Cassini découvrit une nouvelle grande tache précisément à l'endroit où, en 1671, il avait remarqué le nuage blanchâtre.

Plus tard, Herschel fit des observations semblables; il aperçut, le 4 mai 1783, dans la partie obscure de la Lune, un point lumineux à

l'endroit de la tache nommée *Aristarchus :* le 19 et le 20 avril 1787, ce point lumineux reparut encore plus vif. Herschel le regarda comme un volcan, ainsi que deux petites nébulosités qu'il aperçut près de *Kepler* et de *Copernic*. Les astronomes ignorent encore si l'on doit attribuer effectivement ces apparences à des feux volcaniques, ou bien aux effets de la réflexion des rayons lumineux renvoyés de la Terre vers la Lune ; quelques-uns même ont pensé que la Lune était percée dans le voisinage de la tache dont nous venons de parler. Cette opinion, qui pourra paraître extraordinaire, a été soutenue par des savans qui citaient des observations à son appui. Nous ne nous arrêterons pas ici aux assertions plus singulières encore de quelques personnes qui prétendent avoir vu dans la Lune des villes, des monumens, et même des habitations telles que les nôtres.

Si nous pouvions nous transporter sur le globe lunaire, nous y jouirions d'un spectacle fort extraordinaire ; les jours y seraient à-peu-près 27 fois plus longs que les nôtres, nous y aurions des aurores et des crépuscules beaucoup plus longs que nos journées. Chaque climat ensuite devrait avoir une végétation particulière et entièrement différente de la nôtre. Vers les pôles, le Soleil serait toujours près de l'horizon, tandis que, près de l'équateur, les régions se-

raient continuellement échauffées par le Soleil pendant quinze jours, et les nuits y seraient ensuite excessivement froides. On n'y connaîtrait pas, comme sur notre Terre, l'inégalité des jours et des saisons, ou du moins elle serait inappréciable à cause de la faible inclinaison de l'axe lunaire sur l'écliptique ; on n'y connaîtrait pas non plus la distinction des jours et des années, puisque le temps d'une révolution est égal au temps d'une rotation de la Lune sur elle-même. Les habitans de l'hémisphère qui nous est opposée n'auraient jamais vu la Terre, à moins d'être venu sur la partie qui nous est visible ; alors ils verraient notre globe occupant dans le Ciel un espace 13 fois plus grand que celui que nous voyons occuper au leur. Nos vastes continens, nos mers, nos forêts mêmes, leur seraient visibles ; ils apercevraient les immenses monceaux de glace qui s'amoncèlent vers les pôles, et les ceintures de verdure qui s'étendent des deux côtés de l'équateur ; ainsi que ces mers de nuages qui flottent au-dessus de nos têtes, et qui leur déroberaient parfois nos régions. L'incendie d'une ville ou d'une forêt n'échapperaient point à leurs regards, et s'ils étaient munis de bons instrumens optiques, ils verraient jusqu'à la construction des villes nouvelles, jusqu'au déplacement de nos flottes ; ils remarqueraient surtout avec étonnement la rota-

tion de notre Terre sur son axe, et ses différentes phases, selon ses positions relativement au Soleil. Toutes ces observations leur seraient d'autant plus faciles, que ce globe immense demeurerait continuellement suspendu sur leur horizon, et toujours vers le même point. Ainsi, pour un sélénite, habitant le centre de la partie visible du disque lunaire, notre globe serait toujours suspendu au zénith, et permettrait de faire des observations aussi sûres que faciles. A mesure qu'on irait vers les bords de la Lune, notre Terre baisserait vers l'horizon du spectateur, et s'y trouverait entièrement, quand l'observateur se disposerait à passer sur l'autre face, où il cesserait de nous voir entièrement. Ce que nous venons de dire, suffit pour faire concevoir combien la vie d'un sélénite sédentaire deviendrait monotone ; il jouirait à-peu-près toujours d'un même spectacle, admirable à la vérité, mais qui deviendrait ennuyeux à la longue. Au contraire, le voyageur pourrait y varier ses plaisirs, et trouver autant de spectacles, autant de climats nouveaux qu'il trouverait de points à la surface de son globe.

CHAPITRE IV.

De la mesure du Temps.

Après avoir étudié les mouvemens apparens du Soleil et de la Lune, nous allons voir comment on les a fait servir à la mesure du Temps. Cette partie forme une des applications de l'astronomie les plus intéressantes pour les besoins de la société. Nous examinerons donc successivement les différentes manières dont on a partagé le Temps, les instrumens dont on s'est servi à cet effet ; ce qui nous conduira à parler de la gnomonique, de la disposition et de la formation du calendrier, et enfin de la théorie des éclipses.

La durée de l'année dépend de la révolution de la Terre autour du Soleil : comme on peut estimer une révolution entière par rapport à différens points, il doit exister différentes espèces d'années : on en distingue quatre principales.

L'*année tropique* est le temps qui s'écoule entre deux retours successifs de la Terre à l'équinoxe du printemps ; sa valeur est de $365^{j},24225694$. Si la ligne équinoxiale ne se déplaçait pas, l'année tropique serait de même longueur que l'*année sidérale ;* mais nous avons déjà vu, en parlant du Soleil, que cela n'arrive pas, et que l'équinoxe

se déplace peu à peu, en avançant de l'orient vers l'occident. Ce déplacement est de 50",1 par an, et dépend d'une cause que nous ferons connaître plus loin.

L'*année sidérale*, ou le temps du retour de la Terre à sa même place, par rapport à une étoile, est de $365^j,256384$. On estime le mouvement moyen en divisant la valeur de la circonférence 360 par ce temps. On trouve ainsi que le mouvement moyen de la Terre est de 59' 8",3.

La *révolution anomalistique*, ou le temps qui s'écoule entre deux retours successifs de la Terre au périhélie, est de $365^j,259703$. Ici l'année anomalistique diffère encore de l'année sidérale, parce que la ligne des apsides se déplace lentement dans le Ciel, comme la ligne équinoxiale, mais d'occident en orient.

L'*année synodique* se rapporte plutôt aux planètes; c'est le temps du retour d'un astre à sa même position, par rapport au Soleil et à la Terre.

L'imperfection de l'astronomie ancienne n'ayant pas permis d'estimer rigoureusement la durée d'une année tropique, on fut long-temps avant d'avoir des calendriers un peu exacts. Les Égyptiens se contentaient de faire leur année de 365 jours; d'où résultait un inconvénient assez grave. En négligeant chaque année le quart de jour, qui est à-peu-près la valeur de la fraction

0,24225694, le commencement de leur année arrivait chaque fois trop tôt, et se présentait successivement dans les différentes saisons. Les Indiens, pour éviter cet inconvénient, et pour faire que leur année recommençât toujours dans la même saison, tenaient compte de la fraction. Pour cela, ils comptaient successivement trois années de 365 jours, et ils faisaient la quatrième de 366 jours. Cette méthode d'*intercallation* faisait chaque fois recommencer l'année lorsque la Terre était revenue à-peu-près à la même place par rapport à l'équinoxe. Pour se faire une idée plus exacte de la manière de calculer l'année chez les Égyptiens et les Indiens, supposons qu'à une même époque le commencement de l'année coïncidât chez ces deux peuples; quatre ans après, la coïncidence était détruite, et déjà, chez les Égyptiens, le renouvellement de l'année était en avance d'un jour. Comme cette avance d'un jour s'accumulait tous les quatre ans, il en résultait qu'après quatre fois 365 ans ou 1460 ans, les Égyptiens avaient 365 jours, ou une année, d'avance sur les Indiens, et recommençaient leur année une nouvelle fois avec ces derniers peuples; la coïncidence se trouvait donc rétablie; mais les uns avaient compté 1460 années, pendant que les autres en avaient compté 1461. On a donné le nom d'*année vague* ou de *nabonassar* à cette période de 365 jours qu'employaient les Égyptiens,

ainsi que les Perses ; et l'on appelait *période sothiaque*, ou *cycle caniculaire*, la période de 1461 ans qui ramenait le commencement de l'année quand le Soleil reparaissait au même point du Ciel, et se levait avec les mêmes astres ; de sorte que ce n'était qu'après 1461 ans que le lever du soir de la canicule ou sothis était ramené au jour initial de l'année civile. Cette époque était importante, et était saluée par tous les peuples d'Egypte, qui supposaient que le Phénix, après 1461 ans, renaissait de sa cendre.

Du temps de Jules-César, une confusion assez grande régnait dans la manière de calculer le Temps ; ce grand homme sentit le besoin d'une réforme générale ; et, aidé des conseils de l'astronome Sosigène, il établit le *calendrier Julien*, 45 ans avant notre ère. Il fut convenu qu'on intercalerait, comme les Indiens, un jour tous les quatre ans, et l'année sur laquelle retomba cette correction, se nomma *bissextile*, dénomination qui provenait de ce que le jour intercalaire était le second sixième jour, *bissexto*, avant les calendes de Mars. Cependant la correction n'était point suffisante, puisque cette fois l'année était trop longue en prenant la fraction 0,25, au lieu de 0,24225694. Aussi l'erreur, quoique très-petite, se fit ressentir au bout de quelques siècles, et une nouvelle réforme fut effectuée en 1582, par le pape Grégoire XIII. L'équinoxe de

printemps, qui aurait dû arriver le 20 mars, se présentait déjà le 10; il fut convenu que, pour ramener l'équinoxe au 20, on supprimerait dix jours, et que le lendemain du 4 octobre 1582 serait le 15. On supprima aussi les bissextiles séculaires, une exceptée de quatre en quatre ans. Ainsi, pour savoir, d'après la *réforme grégorienne*, si une année doit être bissextile, on suivra la règle suivante : on divisera par quatre les deux chiffres à droite du millésime ; si le quotient est exact, l'année est bissextile. L'année 1826 n'est donc point bissextile, puisque 26 n'est pas exactement divisible par 4. Une année séculaire n'est bissextile qu'autant que le nombre représentant les centaines d'années est divisible par quatre ; ainsi la première année du siècle n'était pas bissextile, car 18 n'est pas divisible par 4. La réforme grégorienne ne fut d'abord admise que dans les états catholiques ; l'Angleterre et les autres pays protestans l'adoptèrent en 1752. Les Grecs et les Russes sont les seules peuples d'Europe qui se servent encore aujourd'hui du calendrier Julien ; de sorte que leur année est maintenant en retard de douze jours sur la nôtre.

La division du Temps en *mois* semble devoir son origine à la marche de la Lune. Nous avons vu en effet qu'une révolution synodique de la Lune s'accomplissait dans l'espace de $29^j,5305885$

ou d'un mois à-peu-près. Les Grecs commençaient leur année vers le solstice d'été, et leurs mois à la néoménie. Ces mois étaient alternativement de 29 et de 30 jours; de sorte qu'une année de 12 mois ne se composait que de 354 jours, et se trouvait plus courte de 11 jours et $\frac{1}{4}$ à-peu-près que l'année tropique. Cette différence, au bout de huit ans, produisait 90 jours ou trois mois, qu'ils intercalaient de manière à avoir des années de 12 et de 13 mois. Ces dernières se nommaient *embolismiques.*

Les Grecs, 776 ans avant notre ère, instituèrent une nouvelle période de quatre ans, qu'ils nommèrent *olympiade,* parce que la première année de ces périodes ramenait la célébration des jeux olympiques. Au mois de juillet 1826, commencera donc la 2602e année des Olympiades, ou la 2e de la 651e olympiade. Les Romains avaient aussi une période de 15 ans, que l'on nomme encore *indiction romaine,* et qui se rapportait à un certain mode de perception des impôts.

Les Turcs n'ont point conservé l'année *luni-solaire* des Grecs; ils se contentent de calculer le Temps par la succession des lunaisons, et ont conséquemment une année de 354 jours, qui n'offre rien de commun avec la marche apparente du Soleil.

Quand on connaît le nombre de jours écoulés

depuis la dernière néoménie, le 31 décembre, à midi, ce que l'on nomme l'*âge* de la Lune ou l'*épacte* astronomique, il est assez facile d'indiquer les différentes phases de la Lune pour le reste de l'année. Il suffit d'observer, en effet, qu'il s'écoule $29^{j},5305885$ d'une néoménie à la suivante, et seulement $14^{j},7652943$ d'une néoménie à la pleine Lune qui suit. Les quadratures moyennes s'obtiennent d'une manière semblable.

Indépendamment de la révolution *sidérale* de la Lune et de la révolution *synodique*, dont nous avons déjà parlé, on distingue encore la révolution *périodique* ou *tropique*, qui est l'intervalle d'un retour de la Lune à l'équinoxe du printemps, et qui a pour valeur $27^{j},321525$, ainsi que la révolution *anomalistique*, intervalle d'un retour de la Lune à son abside, dont la valeur est de $27^{j},21245$.

En comparant quelques périodes entre elles, on est parvenu à trouver des rapports assez singuliers. Un des plus remarquables, est celui qui existe entre les révolutions tropiques de la Terre et les lunaisons; après 19 ans, il s'est écoulé 235 révolutions lunaires; de sorte que les nouvelles et les pleines Lunes reviennent aux mêmes dates, parce que la Lune et le Soleil se retrouvent, par rapport à la Terre, dans les mêmes circonstances et aux mêmes points du Ciel que 19 ans au-

méridien ; on le partage quelquefois en 24 heures, l'heure en 60 minutes, la minute en 60 secondes, et ainsi de suite ; quelquefois on le partage en 10 heures, l'heure en 100 minutes, la minute en 100 secondes, et l'on compte alors depuis 0 heure jusqu'à 24 ou 10. A cause de sa durée uniforme, le jour sidéral est ordinairement employé pour les besoins de l'astronomie.

Le *jour vrai*, ou *solaire*, un peu plus long que le jour sidéral s'estime par le temps écoulé entre deux passages successifs du Soleil au méridien inférieur ou supérieur. Dans le premier cas, on compte 24 heures d'un minuit à l'autre, et l'on a le jour *civil ;* dans le second, on compte d'un midi à l'autre et l'on a le jour *astronomique*. Le bureau des Longitudes de France a préféré commencer le jour astronomique comme le jour civil, à partir de minuit. L'excès du jour solaire sur le jour sidéral n'est pas une quantité constante ; elle varie par deux motifs principaux, d'abord parce que la vitesse apparente du Soleil est variable selon sa distance plus ou moins grande à la Terre, ensuite parce que le Soleil, par son mouvement apparent, décrit des arcs plus ou moins inclinés, par rapport à notre équateur. Malgré ces inégalités, le jour solaire est de la plus grande utilité pour les besoins de la société, et l'on peut estimer sa durée soit au moyen de la lunette méridienne, soit par la gnomonique, comme nous le verrons bientôt.

Le *jour moyen* est celui que l'on aurait si l'on prenait $\frac{1}{365,24226}$ de la durée de l'année ; c'est celui qu'indiquerait une pendule parfaitement réglée, qui serait d'accord avec la marche du Soleil, à une époqne donnée, et qui s'y trouverait encore un an après. Cette pendule serait alternativement en avance ou en retard par rapport ou jour vrai, mais au bout de l'année tout serait compensé. Ces avances ou ces retards constituent ce que l'on nomme l'*équation du temps ;* nous en avons déjà parlé, quand il s'agissait de la théorie du Soleil et des anomalies vraies et moyennes.

Des Cadrans solaires.

Les anciens, qui n'étaient point pourvus comme nous d'excellens *chronomètres* pour la mesure du temps, avaient imaginé différens moyens pour atteindre le même but. Leurs principaux instrumens étaient les clepsydres, les gnomons et les cadrans solaires.

Les *clepsydres* étaient des vases qui indiquaient les heures par le temps qu'employait un sable fin ou un liquide à couler à travers une étroite ouverture. Un des clepsydres les plus ingénieux dont il soit fait mention dans les écrivains anciens, est celui de Ctésibius, qui vivait environ 120 ans avant Jésus-Christ. Une jeune femme, qui semblait regretter la perte du temps, répan-

dait des larmes qui s'amasssaient dans un bassin, et soulevaient lentement une petite figure dont le doigt indiquait l'heure écrite sur une colonne; la colonne elle-même, mue par l'eau, tournait sur son axe dans l'espace d'un an, et offrait ainsi le moyen d'estimer à-la-fois le mois, le jour et l'heure.

Les *gnomons*, dont nous avons déjà parlé en donnant les moyens de construire une méridienne, sont des obélisques qui indiquent les heures par la longueur des ombres qu'elles projettent derrière elles.

Les *cadrans solaires*, de même que les gnomons, indiquent les heures par les ombres projetées. Il en existe de différentes espèces; nous ferons connaître les principaux.

Le cadran *équinoxial* est le plus simple de tous, et l'on a l'avantage de pouvoir y ramener la construction des autres cadrans solaires. Que l'on imagine un cercle dont les deux faces soient partagées en 24 parties égales par des droites partant du centre *o*, la circonférence sera divisée de cette manière en 24 arcs de 15°; on inscrira sur chacune des divisions les heures du jour. Qu'on suppose encore un *style* ou aiguille de fer *o o'* passant par le centre de ce cercle et perpendiculairement à son plan, on aura un cadran équinoxial qu'il ne s'agira plus que de mettre en place. Il faudra pour cela avoir égard à

deux choses ; il faudra que le style *o o'* soit parallèle à l'axe de la Terre, et alors le plan du cercle sera parallèle au plan de l'équateur céleste, avec lequel il se confondra. Il faudra, en second lieu, tourner le cadran autour de son centre jusqu'à ce que le diamètre qui passe par les deux points qui indiquent 12 heures soit dans le plan du méridien. Le cadran étant dans cet état, lorsqu'il sera midi, le Soleil *s* se trouvera dans le plan du méridien qui contient le style *o o'* parallèle à l'axe de la Terre, et la droite *os*. Le style projetera donc derrière lui une ombre qui couvrira la droite *o*,12, et qui indiquera sur le cadran qu'il est midi ou 12 heures. Quelque temps après, le Soleil aura quitté le plan du méridien, et se sera porté vers l'Occident, tandis que l'ombre projetée par le style aura quitté aussi la direction *o*,12 pour se porter vers l'Orient. Par exemple, à 2 heures, lorsque le Soleil aura parcouru l'arc *s s'* de 30°, et qu'il se trouvera dans le cercle horaire déterminé par les droites *o o'* et *os'*, l'ombre projetée par le style dans la direction *o*,2, indiquera qu'il est 2 heures. Le Soleil continuera à parcourir ainsi une circonférence parallèle à celle du cadran, et la marche de l'ombre projetée par le style indiquera exactement la marche du Soleil. On conçoit sans peine que puisque le plan du cadran est parallèle au plan de l'équateur, le Soleil indiquera alternati-

vement, pendant six mois, l'heure sur l'une et l'autre face du cadran. A l'époque des équinoxes, le Soleil se trouvant dans le plan même du cadran, l'instrument ne pourra plus servir qu'autant qu'il aurait un rebord dans sa partie opposée au Soleil pour marquer la direction de l'ombre. On peut aussi conclure de ce qui précède qu'un cadran équinoxial peut servir dans tous les lieux de la Terre, pourvu qu'en le plaçant, on ait égard aux deux conditions que nous avons énoncées plus haut.

Le cadran *horizontal* ne diffère du cadran équinoxial qu'en ce que le plan sur lequel les ombres projetées indiquent les heures, est parallèle au plan de l'horizon, au lieu d'être parallèle à l'équateur : le style, du reste, doit encore être parallèle à l'axe du monde. On pourrait donc, au moyen du cadran équinoxial, construire le cadran horizontal ; supposons, en effet, que le premier ayant été convenablement placé, on veuille construire le second sur le plan horizontal *m n*. *O''o*, parallèle à l'axe de la Terre, sera encore le style de notre nouveau cadran ; il ne s'agira plus que de tracer les lignes horaires *o''*12'',*o''*2'', etc. Pour cela, attachons un fil au point *o*, et tendons-le successivement dans les directions des *lignes horaires* *o*,12, *o*,2, etc., du cadran équinoxial. Ce fil, prolongé, rencontrera le point horizontal aux points 12'',2'', etc.,

et ces points, étant joints au point o'', on aura les lignes horaires demandées. L'angle que forme ici le style avec la méridienne $o''12$, est évidemment la hauteur du pôle ou la latitude du lieu. Un cadran horizontal ne peut donc servir encore comme cadran horizontal que dans les lieux qui ont même latitude.

Le cadran *méridional et septentrional* est dans un vertical perpendiculaire à la méridienne. Le cadran solaire construit dans le plan vertical *np*, par exemple, lequel est perpendiculaire à la méridienne $o''12''$, serait un cadran méridional et septentrional. Il faudra encore fixer le style parallèlement à l'axe du monde, et alors l'angle $oo'12'$ sera le complément de $o'o''12'$ ou de la latitude du lieu; on pourra aussi tracer les lignes horaires au moyen du cadran équinoxial.

Le cadran *oriental* et *occidental* est tracé sur le plan même du méridien; mais ici le style est parallèle au plan du cadran, de manière que toutes les lignes horaires sont parallèles entre elles. Pendant toute la matinée, l'heure est indiquée sur la face orientale, et pendant le reste du jour sur la face opposée. A midi, le Soleil n'éclaire que le bord du cadran, puisqu'il se trouve dans son plan supposé prolongé.

Le cadran *polaire* est le cadran horizontal des pays situés sous l'équateur. Quand on le construit pour un lieu quelconque, son plan doit

passer par les pôles et par l'orient et l'occident. Le style et les lignes horaires sont nécessairement parallèles comme dans le cadran oriental et occidental.

Quand on a fixé le style d'un cadran solaire parallèlement à l'axe de la Terre, on peut, par le moyen du cadran équinoxial, comme nous en avons donné un exemple précédemment, construire les lignes horaires *sur une surface quelconque.* Toutes ces lignes, en effet, doivent passer par le *centre* du cadran, ou par le point où le style rencontre sa surface, et puis par les différens points p de cette surface, où vient successivement aboutir le fil tendu par les lignes horaires du cadran équinoxial. Il faudra alors attacher le fil au centre du nouveau cadran, et le tendre dans les directions des différens points p obtenus précédemment : ces directions sont celles des lignes horaires.

On peut s'y prendre d'une autre manière encore quand on a une montre convenablement réglée pour le jour où l'on fait la construction. On commencera par fixer le style dans la direction du pôle, et l'on marquera par des traits les directions des ombres aux différentes heures du jour, indiquées par la montre ; on aura ainsi les lignes horaires qui pourront toujours servir par la suite.

Les cadrans solaires peuvent encore indiquer

l'heure pendant la nuit, au moyen de la lumière de la Lune; mais il faut pour cela connaître l'heure à laquelle la Lune passe au méridien, ce qui se trouve généralement indiqué dans tous les ouvrages qui traitent de la connaissance des temps. Si l'on trouve, par exemple, que la Lune passe au méridien à 10 heures du soir, on pourra dire qu'il est 10 heures, quand le cadran solaire, éclairé par la Lune, marquera midi : il sera 11 heures quand le cadran marquera 1 heure, et ainsi de suite.

Non-seulement les cadrans solaires indiquent les heures vraies et leurs sous-divisions; mais quelquefois ils marquent encore le temps moyen et le signe du Zodiaque dans lequel se trouve le Soleil. On conçoit en effet que l'ombre projetée par le style, à midi, est plus ou moins longue, selon la position du Soleil par rapport à l'équateur. D'une autre part, quand il est midi vrai, il n'est point tout-à-fait midi à la pendule qui marque le temps moyen, et ces différences varient aux différentes époques de l'année. Si l'on marquait donc soigneusement tous les jours, à midi moyen et pendant le cours d'une année, l'ombre de l'extrémité du style, la suite des points formerait *la courbe méridienne du temps moyen* qui a la figure d'un 8 resserré et étendu dans le sens du méridien. A deux époques de l'année, le midi vrai et le midi moyen coïncideraient, et l'ombre de l'extré-

mité du style tomberait au milieu du 8 ; à deux autres époques, le midi vrai et le midi moyen coïncideraient encore, et l'ombre tomberait à l'une ou à l'autre extrémité du 8. Aux autres époques de l'année, l'ombre de l'extrémité du style tomberait aux différens points de la courbe avant ou après que le cadran indiquerait midi vrai, selon que le jour moyen serait en avant ou en retard sur le jour solaire, c'est-à-dire, selon que l'équation du temps serait positive ou négative ; car c'est de l'équation du temps que dépend la largeur plus ou moins grande de la courbe. On conçoit qu'il n'est guère possible de tracer d'une manière un peu exacte la courbe méridienne du temps moyen, ainsi que les autres indications semblables, que sur des cadrans d'une grande dimension.

Du Calendrier.

Nous avons parlé précédemment des principales périodes employées pour la division du temps; nous avons dit aussi en quoi consistaient le Nombre d'or, l'Epacte, l'Indication romaine, et plusieurs autres désignations que l'on trouve ordinairement dans les calendriers : il nous reste à parler de la fixation des principales fêtes et du Cycle solaire.

L'année ordinaire se compose de 365 jours ou de 52 semaines et 1 jour; de manière que si

une année, 1826, par exemple, commence un dimanche, l'année suivante commencera un lundi. Dans le *Calendrier perpétuel*, on remplace les noms des jours de la semaine par les lettres A, B, C, D, E, F, G; et une même lettre représente, pendant tout le cours d'une année, le même jour. La lettre qui indique le dimanche se nomme *dominicale;* ainsi, pour 1826, qui commence par un dimanche, la dominicale doit être A: la dominicale pour 1827 sera G, et ainsi de suite. Il faut cependant avoir égard aux années bissextiles; car février ayant alors 29 jours, au lieu de 28, la lettre qui a désigné dimanche en janvier et février, désignera lundi pendant le reste de l'année. Ainsi la lettre dominicale rétrograde d'un rang dans les années ordinaires, et de deux dans les années bissextiles.

Après sept bissextiles, ou 7 fois 4, les dominicales se reproduisent périodiquement dans le même ordre; cette période de 28 ans porte le nom de *cycle solaire* ou de *lettres dominicales*. Le cycle a recommencé 9 ans avant notre ère, et il s'est reproduit autant de fois que l'on a compté 28 ans depuis cette époque. En 1826, le cycle s'était reproduit 65 fois, et l'on se trouvait dans la 15[e] année du 66[e], ce que l'on voit en prenant la valeur de la fraction $\frac{1826+9}{28}$. Le cycle solaire ne peut être utile qu'aux peuples qui se servent encore du calendrier Julien, et qui ne tiennent

point compte de la suppression des bissextiles séculaires, d'après la réforme grégorienne.

Parmi les fêtes inscrites au calendrier, les unes sont *immobiles*, et arrivent toujours aux mêmes dates; les autres sont *mobiles*, et dépendent de la fête de *Pâques*, qui change de date chaque année.

Les fêtes immobiles sont les suivantes :

La *Circoncision*, qui arrive le 1er janvier.

L'*Epiphanie* ou *les Rois*, le 6 janvier.

La *Purification* ou la *Chandeleur*, le 2 février.

L'*Annonciation*, le 25 mars.

La *Saint-Jean* d'été, le 24 juin.

L'*Assomption*, le 15 août.

La *Nativité de la Vierge*, le 8 septembre.

La *Toussaint*, le 1er novembre.

La *Conception*, le 8 décembre.

La *Noël*, le 25 décembre.

Les quatre dimanches de l'*Avent* sont ceux qui précèdent Noël.

La fête de Pâques, d'après les décisions de l'Eglise, doit arriver le premier dimanche d'après la pleine Lune qui suit le 20 mars. Si la pleine Lune arrivait donc le 21 mars, et si le lendemain était justement un dimanche, ce jour serait celui de Pâques. Cette dernière fête ne peut donc jamais arriver plutôt que le 22 mars, et jamais plus tard que le 25 avril; car la circonstance la plus défavorable serait celle où la

pleine Lune arriverait le 20 mars. Il faudrait alors attendre la pleine Lune suivante, qui n'arriverait que le 18 avril; si ce jour était un dimanche, il faudrait, pour la fête de Pâques, attendre sept jours encore, ou bien juqu'au 25 avril. Les autres fêtes mobiles se présentent de la manière suivante :

La *Septuagésime*, le 9e dimanche ou 63 j. avant Pâques.

La *Quinquagésime*, ou *dimanche gras*, 48 j. avant Pâques.

Le *jour des Cendres*, le mercredi après le dimanche gras.

Le dimanche de la *Passion*, 14 j. avant Pâques.

Le dimanche des *Rameaux*, 7 j. avant Pâques.

La *Quasimodo*, le dimanche après Pâques.

L'*Ascension*, le jeudi, 40 j. après Pâques.

Les *Rogations*, les trois jours qui précèdent l'Ascension.

La *Pentecôte*, 50 j. après Pâques.

La *Trinité*, le dimanche après la Pentecôte.

La *Fête-Dieu*, le jeudi après la Trinité.

Les *Quatre-Temps* arrivent aux mercredis après les Cendres, la Pentecôte, le 14 septembre et le 13 décembre.

Des Éclipses.

Quand des corps opaques se trouvent devant des foyers lumineux, ils interceptent une partie

des rayons et projettent derrière eux des ombres plus ou moins grandes qui dépendent de leurs dimensions. C'est ainsi que la Terre, éclairée d'un côté par le Soleil, projette derrière elle un cône d'ombre assez étendu ; et quand il arrive que la Lune, dans ses oppositions, vient à passer dans ce cône, elle se trouve privée pendant quelques instans des rayons solaires, et son disque, qui devrait être entièrement illuminé, subit une *éclipse.* Ce phénomène devrait se reproduire périodiquement tous les mois, si la Lune se trouvait toujours dans l'écliptique ; car, à chaque pleine Lune, l'astre passerait au milieu du cône d'ombre projeté par la Terre. Dans de pareilles circonstances, on aurait aussi chaque mois une *éclipse de Soleil,* à la néoménie ; c'est-à-dire, que la lumière solaire serait interceptée pendant quelques instans, à cause de l'interposition de la Lune. Il arriverait donc succesivement, de quinze jours en quinze jours, qu'on aurait des éclipses de Soleil ou de Lune, selon que ce dernier astre se trouverait ou en conjonction ou en opposition. Mais il n'en est point ainsi : l'orbite lunaire est incliné de plus de 5° sur le plan de l'écliptique, et de cette manière, la Lune doit se trouver, la plupart du temps, ou trop élevée ou trop abaissée par rapport à ce plan, pour pouvoir produire des éclipses. Il y a donc des conditions à remplir pour que le phénomène qui nous occupe puisse avoir lieu.

Ce qui distingue essentiellement les éclipses du Soleil des éclipses de Lune, c'est que ces dernières sont visibles à-la-fois dans tous les lieux qui ont la Lune sur leur horizon à l'instant où le phénomène a lieu, tandis qu'il n'en est pas de même pour les éclipses de Soleil qui peuvent se produire pour certains pays seulement. D'une autre part, les éclipses de Lune commencent et finissent en même temps pour tous les lieux où elles sont visibles, tandis que les éclipses de Soleil commencent et finissent à différentes heures pour les différens pays. On cherche ordinairement à expliquer ce double phénomène, en supposant un nuage qui, au milieu d'un Ciel pur, vient à passer subitement devant le disque solaire. Ceux qui se trouvent alors sur son passage éprouvent une véritable éclipse de Soleil, tandis qu'à leur tour ils sont éclipsés aux yeux des personnes qui, de loin, les voient momentanément dans l'ombre. Le nuage, en glissant dans le Ciel, éclipse successivement tous les spectateurs qui se trouvent sur son passage ; mais le temps pendant lequel l'un de ces spectateurs est éclipsé, est le même pour ceux qui peuvent l'apercevoir.

La disparition subite d'un astre tel que le Soleil ou la Lune, dans un temps où la cause des éclipses n'était bien connue que de quelques savans, devait naturellement inspirer un mélange

d'étonnement et d'effroi aux peuples qui regardaient ces phénomènes comme les précurseurs de la vengeance céleste. Aussi l'histoire de l'antiquité nous apprend que souvent des armées ont été détruites en se laissant consterner et abattre par l'apparition d'une éclipse, et que souvent des généraux instruits ont tiré avantage de la crédulité des peuples, en les menaçant de prodiges dont eux seuls savaient calculer les retours. Aujourd'hui, les hommes ne se laissent plus intimider par de semblables menaces ; ils savent trop bien que des éclipses, que l'on prédit plusieurs siècles d'avance, ne peuvent être liées en aucune manière avec les événemens contemporains, et ne peuveut nullement annoncer le courroux céleste pour des crimes, dont l'idée même n'était pas venue, à l'époque où l'on savait déjà calculer de quelle manière devait éclater la prétendue vengeance.

Il est intéressant de connaître avant tout l'étendue du cône d'ombre que laisse la Terre derrière elle dans l'espace. On peut la calculer, sans peine, au moyen des données que nous avons posées précédemment. Supposons, en effet, le centre du Soleil en s et celui de la Terre en t; la Terre projetera derrière elle le cône d'ombre $m' \, n \, p'$. L'étendue de ce cône s'estimera de la manière suivante : menons les tangentes $m \, n$ et $p \, n$ aux deux astres ; et du centre de la Terre, la

droite *ta* parallèle à *mn*, les triangles semblables *ntm'* et *tsa* donneront la proportion *nt* : *tm'* :: *ts* : *sa*. Mais *tm'* est le rayon de la Terre que nous pouvons prendre pour unité ; *ts* est la distance de la Terre au Soleil, qui vaut alors 24096, et enfin *sa* est le rayon solaire moins le rayon terrestre, ou bien 109. Le quatrième terme de la proportion s'obtient donc sans peine, et l'on trouve que la longueur du cône d'ombre projeté par notre globe vaut plus de 220 rayons de la Terre. La distance de la Lune est de 60 rayons terrestres, et vaut conséquemment à-peu-près le quart de la longueur du cône d'ombre projeté par notre globe. La Lune projette également un cône d'ombre derrière elle, mais moins étendu que celui de la Terre, puisque les diamètres de ces deux astres qu'on peut regarder comme situés à-peu-près à même distance de Soleil, sont dans le rapport de 3 à 11. L'étendue de l'ombre lunaire est d'environ 60 rayons terrestres ; ainsi donc, pendant les éclipses du Soleil, la Lune étant à sa distance moyenne, le sommet du cône d'ombre qu'elle projette doit effleurer la Terre ; alors les spectateurs qui se trouvent sur le passage de ce sommet, voient pendant un instant très-court le disque lunaire cachant entièrement le disque solaire. Ces éclipses, qui sont très-rares, se nomment éclipses *centrales* ou *totales*. Le spectacle qui se présente alors est fort impo-

sant ; la lumière du jour peut s'affaiblir à tel point que Vénus et des étoiles de première grandeur, deviennent visibles à l'œil nu. On voit encore des gerbes de rayons lumineux s'élancer de derrière le disque obscurci de la Lune. Quelquefois aussi la Lune étant éloignée de nous au-delà de la longueur de son ombre, l'éclipse devient *annulaire*, c'est-à-dire, qu'au milieu de l'éclipse, le disque solaire déborde de tous côtés le disque lunaire et présente un anneau lumineux. Ce phénomène s'est présenté d'une manière bien remarquable le 7 septembre 1820. Il a commencé à être visible vers le pôle septentrional par-delà 80° de latitude, dans la baie d'Hudson, près de la côte orientale de Niew-Wallis ; il a été visible ensuite dans la direction du nord-est du Groenland, de l'embouchure du Wezel, de Brême, du golfe de Venise, de l'Arabie déserte, et a cessé d'avoir lieu près du golfe Persique. Pendant que cette éclipse se produisait dans ces différens lieux, les spectateurs, qui, sur les mêmes méridiens, se trouvaient plus au sud, ne voyaient le disque solaire que caché en partie par le disque lunaire, et avaient une éclipse *partiale;* d'autres même pouvaient ne pas avoir d'éclipse, la Lune paraissant pour eux plus élevée que le Soleil. Le contraire avait lieu pour les spectateurs placés sous les mêmes méridiens, plus au nord que ceux pour lesquels avait lieu

l'éclipse annulaire. C'est pendant un phénomène semblable que l'astronome Schröter prétend avoir observé que des rayons solaires avaient traversé le globe lunaire dans un endroit où il suppose que doit exister un grand enfoncement. On jouira à Paris du spectacle d'une éclipse annulaire en 1847. En général, les éclipses de Soleil sont plus nombreuses que celles de Lune, mais elles sont plus rarement visibles. Ces phénomènes ont lieu selon que la Lune traverse le cône $m\ n\ p$ dans la partie $m'\ n\ p'$ ou dans la partie $m\ m'\ p'\ p$, où les tranches sont plus larges, et donnent conséquemment plus de chances pour l'arrivée des éclipses de Soleil.

Les éclipses de Lune ne peuvent jamais être annulaires, puisque le disque lunaire n'est environ que $\frac{3}{8}$ de la tranche d'ombre qu'il traverse dans les éclipses totales. Du reste, elle sont *universelles,* c'est-à-dire, visibles avec les mêmes apparences pour tous les lieux qui ont la Lune sur l'horizon. Les éclipses de Lune sont *totales*, *partiales* ou *appulses ;* on se sert de cette dernière dénomination pour indiquer que la Lune effleure l'ombre de la Terre par son bord. Pour estimer la *phase écliptique*, ou les dimensions de la partie éclipsée, on partage le disque lunaire en 12 parties égales ou *doigts*, et le doigt en 60 minutes.

En recevant, pendant une éclipse de Soleil, la lumière de l'astre à travers une étroite ouver-

ture d'une chambre obscure, on peut distinguer fort bien la partie éclipsée, car l'astre vient se peindre alors dans la chambre tel qu'on l'observerait à l'extérieur. On peut faire la même observation sur les rayons solaires qui tombent à terre après avoir traversé les étroites ouvertures que laisse le feuillage. L'instant du commencement et de la fin d'une éclipse est assez difficile à apprécier exactement, peut-être à cause de l'irradiation de la lumière. L'échancrure que produit le disque lunaire sur le Soleil doit avoir une certaine étendue pour devenir sensible, et c'est par son étendue que les astronomes jugent approximativement du commencement d'une éclipse. On conçoit les erreurs qui peuvent résulter d'une estimation semblable, comme l'a fort bien fait remarquer M. Bouvard, en rendant la chose sensible par l'expérience. Cet habile observateur plaçait à une certaine distance un disque blanc avec plusieurs échancrures de diverses dimensions, dont les plus petites devenaient insensibles, même à l'aide du télescope.

Quand nous avons une éclipse de Lune, les Sélénites doivent avoir une éclipse de Soleil; et réciproquement quand nous avons éclipse de Soleil totale, les Sélénites doivent avoir une éclipse de Terre annulaire. Une petite portion d'ombre projetée par la Lune doit parcourir la surface de notre globe; dans certaines circonstances, ce petit

disque d'ombre doit se réduire à un point, ou disparaître même entièrement quand nous avons une éclipse annulaire.

Nous avons dit précédemment que les éclipses ne peuvent avoir lieu que sous certaines conditions. Il faut, en effet, que la Lune soit dans les syzygies et se trouve dans ses nœuds ou dans leur voisinage ; sans cette dernière condition elle passerait ou trop haut ou trop bas pour que l'éclipse pût avoir lieu. On calcule que, quand la conjonction a lieu à moins de 14° de la ligne des nœuds, l'éclipse est certaine, et qu'elle peut, dans certains cas encore, se produire même à 19°. Les éclipses de Lune ont certainement lieu quand l'opposition arrive à moins de 9° de la ligne des nœuds ; mais elles deviennent douteuses lorsque la distance est de 9° à 12°,5. Les tables du Soleil et de la Lune donnent le moyen de calculer avec beaucoup de précision l'instant d'une éclipse qui ne doit avoir lieu que bien des années après. Ces sortes de prédictions sont bien propres à montrer la confiance que l'on doit ajouter aux résultats que donne l'astronomie, et à prouver combien sont puériles les craintes qu'inspirent les éclipses. Sans recourir au calcul, on peut, après dix-huit ans d'observations, qui constituent la période *Saros* des Chaldéens, connaître assez bien les retours des éclipses, puisque après cette période de temps, le Soleil et la Lune se retrouvent

à la même position par rapport aux nœuds lunaires.

L'éclipse de Lune étant un phénomène que l'on peut observer simultanément de différens points du globe, donne un moyen simple mais peu sûr pour déterminer les longitudes. Si, en effet, deux spectateurs observent en même temps le commencement d'une éclipse, et que la pendule de l'un marque 10 heures et celle de l'autre 11, il en faut conclure que ces deux observateurs sont à 15° de longitude l'un de l'autre. Une éclipse de Lune peut durer plus de trois heures ; on a donc l'avantage de pouvoir observer successivement l'instant où chacune des principales taches s'éclipse, et de prendre une moyenne parmi toutes les longitudes calculées de cette manière.

Plusieurs planètes ont des satellites ou lunes, comme notre Terre, qui s'éclipsent très-fréquemment. On peut employer aussi l'observation de ces éclipses pour la détermination des longitudes. On emploie encore avec succès, pour le même but, les *occultations* des étoiles par la Lune. On calcule d'avance l'instant où ces phénomènes doivent avoir lieu, et en comparant les résultats du calcul aux résultats des observations, on obtient les longitudes. Dans ces sortes d'observations il faut avoir égard aux effets de parallaxe.

CHAPITRE V.

DES PLANÈTES EN GÉNÉRAL.

Par une observation un peu suivie des phénomènes célestes, on peut facilement distinguer les planètes des étoiles fixes, puisque ces derniers astres conservent continuellement leurs distances respectives, et qu'il n'en est point de même à l'égard des premiers, qui se déplacent lentement à la vérité, mais d'une manière très-sensible. On peut ajouter à cela que, vues au moyen d'un télescope, les planètes, à cause de leur proximité, présentent un diamètre apparent. On peut aussi les reconnaître assez bien à l'œil nu, car leur lumière n'est point scintillante comme celle des étoiles; et d'ailleurs elles se trouvent toujours dans le voisinage de l'écliptique, du moins les plus apparentes qui sont connues de temps immémorial.

Notre système planétaire, d'après les connaissances actuelles, se compose de onze planètes principales qui circulent continuellement dans des ellipses, au foyer commun desquelles se trouve le centre du Soleil : six seulement étaient connues des anciens, *Mercure*, *Vénus*, la *Terre*, *Mars*, *Jupiter* et *Saturne*; la connaissance des cinq autres, *Vesta*, *Junon*, *Cérès*, *Pallas* et *Ura-*

nus, est due aux découvertes modernes. Quelques-unes de ces planètes sont, comme notre Terre, accompagnées de satellites ou de lunes qui circulent autour d'elles. Ces planètes secondaires sont maintenant au nombre de dix-huit. Quatre circulent autour de Jupiter, sept autour de Saturne, six autour d'Uranus, et une autour de la Terre. Il est possible que notre système planétaire soit beaucoup plus étendu encore, et que quelques astres trop rapprochés du Soleil nous soient invisibles en se perdant, pour ainsi dire, dans sa lumière, ou bien que d'autres échappent aux regards à cause de leur trop grand éloignement.

Mercure et Vénus ont cela de particulier que, quand on les voit de la surface de notre Terre, ces planètes ne s'éloignent jamais du Soleil au-delà de certaines limites, et semblent osciller continuellement autour de lui. Ces apparences avaient déjà fait juger depuis long-temps qu'elles sont plus rapprochées du Soleil que notre globe; on leur a donné par ce motif le nom de *planètes inférieures;* et, par opposition, on a nommé *planètes supérieures* toutes les autres. Ces dernières peuvent être vues dans le Ciel à toutes les distances possibles du Soleil. On a donné le nom d'*élongation* aux écarts ou digressions d'une planète inférieure.

On reconnaît assez bien que les planètes sont

des corps opaques par les phases qu'elles présentent comme la Lune, en raison de leurs positions relativement à l'astre principal qui les éclaire. Ces corps ont un grand nombre de propriétés communes, et il est très-vraisemblable qu'ils sont habités comme notre Terre ; il n'est point nécessaire de supposer que les êtres qui s'y trouvent sont conformés et organisés comme nous. La nature peuple avec une si riche variété jusqu'aux moindres plantes, que nous pouvons bien admettre avec vraisemblance l'existence d'êtres différens de nous, et doués peut-être d'une intelligence supérieure à la nôtre. On pourrait même dire qu'il n'est point conforme à la marche habituelle de la nature de produire un petit globe, unique en son espèce, et dont la surface présenterait partout l'image de la vie, tandis qu'ailleurs tant d'autres corps semblables auraient été frappés, dès leur création, d'un état de stérilité et de mort.

Copernic chercha à établir, d'après des principes sûrs, que le Soleil doit être regardé comme fixe au centre de notre système planétaire, et que les planètes circulent autour de lui dans l'ordre que nous leur avons assigné plus haut. Ces idées, malgré les oppositions nombreuses de ceux qui regardaient tout le reste de l'univers comme subordonné au destin de notre Terre, prévalurent à la longue, et furent reçues sous la dénomination

de *système de Copernic.* Nous avons déjà parlé des admirables lois dont on doit la connaissance au génie de Kepler. Ce grand astronome avait des idées toutes particulières sur la secrète harmonie qui devait exister entre les propriétés des nombres et les grands principes de la nature. Nous avons déjà eu occasion de remarquer combien il avait été heureux dans l'application de ces idées à la recherche des lois du mouvement des corps célestes. Il pensait aussi que les distances des planètes à leur astre central doivent suivre une certaine loi. Si l'on prend, en effet, le nombre 4, en l'ajoutant avec ceux qu'on a aux différens termes de la progression 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, de manière à avoir 4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196, on obtiendra à-peu-près les distances relatives des planètes au Soleil. Ainsi 4 exprimant la distance de Mercure, 7 exprimera celle de Vénus, et ainsi de suite. Kepler remarqua qu'il se trouvait une lacune entre Mars et Jupiter ; et, par un hasard singulier, c'est effectivement dans cet espace que les astronomes modernes ont trouvé les quatre petites planètes, Vesta, Junon, Cérès et Pallas : nous disons par hasard, car on ignore encore entièrement la cause physique d'une pareille harmonie. Si cette loi se trouvait démontrée, comme le sont les trois autres lois de Kepler, il en résulterait qu'on pourrait en déduire immédiatement les temps

des révolutions des planètes, puisque les carrés de ces temps sont comme les cubes des grands axes.

On pourrait aussi en déduire la vitesse des planètes ou le nombre de lieues qu'elles parcourent par minute. Ces vitesses sont en raison inverse des racines carrées des distances. Si l'on prend donc les racines carrées des nombres précédens 2; 2, 6; 3, 1; 4; 5, 3; 7, 2; 10; 14, les rapports inverses donneront les vitesses relatives. Ainsi la vitesse de Mercure sera à celle d'Uranus comme 14 est à 2; on calcule, en effet, que ces planètes parcourent par minute, la première, 653 lieues, et l'autre 93 : on voit aussi que Mars doit avoir la moitié de la vitesse de Mercure, et Saturne le cinquième.

Un des phénomènes les plus remarquables du système du monde, c'est le sens uniforme dans lequel les planètes principales et leurs satellites font leurs révolutions autour du Soleil. On ignore aussi la cause de cette uniformité de mouvement; le calcul des probabilités nous enseigne qu'il y a 1 contre 4095 à parier pour la probabilité d'une plus grande facilité de mouvement d'occident en orient, que dans le sens contraire ; encore ne fait-on pas entrer dans ce calcul la considération des satellites (1).

Une autre loi singulière que l'observation fait

(1) Voyez Lacroix et Delaplace, calcul des probabilités.

également reconnaître, c'est que les satellites tournent toujours la même face vers leur planète principale, comme nous l'avons remarqué pour notre Lune; c'est-à-dire, qu'ils tournent une fois sur leur axe dans le même temps qu'ils font une révolution dans leur orbite. On observe encore ici que les rotations autour des axes s'accomplissent dans un même sens, comme pour les révolutions dans les orbites : cette loi paraît s'étendre à toutes les planètes connues.

Depuis les importantes découvertes de Newton, et depuis qu'on a soumis les résultats des observations à la rigueur des calculs, on est parvenu à percer beaucoup plus avant dans les secrets de la nature. L'exposition de ces découvertes fera l'objet du livre suivant : pour se faire une idée de leur importance, il suffit de savoir qu'on est parvenu à estimer approximativement le poids de notre Terre et ceux des autres planètes. En supposant les corps homogènes, et en les comparant à des substances connues, on trouve qu'on pourrait considérer le Soleil comme composé de bitume solide; Mercure, de mercure liquide; Vénus, de manganèse, ainsi que notre Terre; Mars et la Lune, de diamant; Jupiter et Uranus, de résine ou de bitume, à-peu-près comme le Soleil; et Saturne, le plus léger de tous, de bois de sapin. On a trouvé aussi que la densité de la Terre vaut à-peu-près quatre

fois et demie celle de l'eau : il est bon d'observer cependant, comme nous verrons plus loin, que les densités des planètes ne sont pas rigoureusement déterminées. Kepler avait supposé qu'elles pouvaient bien être réciproques aux racines carrées des moyennes distances, de même que les vitesses, de telle manière qu'elles devaient diminuer à mesure que les distances au Soleil augmentaient. Il jugeait aussi, d'après les lois de convenance et d'harmonie qui l'avaient guidé dans toutes ses recherches, que le Soleil était le plus dense de tous les astres, ce qui n'est pas. Uranus s'écarte également de la régle précédente ; mais, comme le remarque M. de Laplace, l'incertitude des mesures du diamètre apparent et des plus grandes élongations de ses satellites, ne permet pas de prononcer sur ce point.

Nous avons déjà remarqué que l'on distingue trois espèces de révolutions planétaires : la révolution *tropique* s'accomplit quand un spectateur supposé au centre du Soleil, voit la planète revenir à l'un des points équinoxiaux ; la révolution *sidérale*, quand il la revoit près d'une même étoile ; enfin, la révolution *synodique* s'accomplit quand le spectateur du centre de la Terre revoit la planète en conjonction avec le Soleil. On nomme aussi révolution *anomalistique* celle qui a lieu par rapport à l'apside.

Pour que le mouvement d'une planète soit

bien déterminé, il est important de connaître sept quantités que l'on nomme *élémens du mouvement elliptique*. Cinq de ces élémens sont relatifs au mouvement dans l'ellipse; 1° la durée de la révolution sidérale; 2° le demi-grand axe de l'orbite, ou la moyenne distance de la planète au Soleil; 3° l'excentricité d'où resulte la plus grande équation du centre; 4° la longitude moyenne de la planète à une époque donnée; 5° la longitude du périhélie à la même époque. Les deux autres élémens, relatifs à la position de l'orbite, sont: 1° la longitude à une époque donnée, des nœuds de l'orbite ou de ses points d'intersection avec un plan que l'on suppose ordinairement être celui de l'écliptique; 2° l'inclinaison de l'orbite sur ce plan: il y a donc en tout 77 élémens pour les 11 planètes connues. Ces élémens sont sujets à quelques *inégalités*, dues à des forces *perturbatrices*, dont il sera parlé dans le 3e livre. Nous allons faire connaître maintenant les différentes planètes, et nous donnerons ensuite le tableau de leurs élémens.

Des Planètes inférieures.

DE MERCURE. ☿

Mercure est une petite planète que l'on voit alternativement avant et après le lever ou le cou-

cher du Soleil, dont elle ne s'écarte jamais au-delà de 16 à 29 degrés. On ne peut guère l'apercevoir à l'œil nu qu'à ses plus grandes élongations, surtout dans nos climats septentrionaux. Delambre dit ne l'avoir aperçue à la vue simple que deux fois, l'une à Paris et l'autre à Narbonne ; et il ajoute que Copernic, qui en a dressé des tables, n'avait jamais pu la voir. La difficulté d'observer Mercure, jointe à la complication de la marche de cette planète, a exigé, sans doute, un bien long espace de temps pour reconnaître l'identité des deux astres qu'on voyait alternativement suivre ou précéder le lever du Soleil.

Vu au moyen du télescope, Mercure présente un diamètre apparent très-variable, dont la valeur moyenne paraît être de près de 6" 3. Cette planète présente aussi, comme la Lune, des phases qui sont d'une grande utilité pour reconnaître sa forme ainsi que ses positions relativement au Soleil. On a reconnu, de cette manière, que sa forme était sphérique, que sa lumière était empruntée du Soleil, et qu'elle tournait autour de ce dernier astre. Sa révolution sidérale s'accomplit dans l'espace de $87^{j},969$, et surpasse de près d'une minute la révolution tropique ; mais, observé de la surface de la Terre, cet astre emploie depuis 106 jours jusqu'à 130 jours à prendre la même position relativement au Soleil. On dit ordinairement le mouvement *géo-*

centrique ou *héliocentrique* d'une planète, selon qu'il est vu du centre de la Terre ou du centre du Soleil.

Connaissant le temps que Mercure emploie à décrire son orbite elliptique autour du Soleil, et connaissant d'ailleurs les élémens elliptiques de l'orbite de la Terre, on peut, par la troisième loi de Kepler, déterminer la distance moyenne de cette planète. On trouve, en prenant pour unité la distance moyenne de la Terre, le nombre 0,387. Nous sommes donc à-peu-près trois fois aussi éloignés du Soleil que Mercure. Il résulterait de là que, sur ce dernier astre, la chaleur et la lumière devraient être sept fois plus fortes que sur notre globe au milieu de l'été; cette température serait suffisante pour que l'eau y fût continuellement à l'état d'ébullition.

Nous avons déjà dit que la plus grande élongation de Mercure a pour valeur 29°, et pour valeur moyenne 22° $\frac{1}{2}$. Si l'on observe l'astre dans cette position, on lui reconnaît un croissant dont les cornes sont opposées au Soleil. L'astre paraît assez long-temps stationnaire, parce que l'arc qu'il décrit est à-peu-près perpendiculaire à celui que parcourt notre terre. Mercure se rapproche alors du Soleil et parcourt la partie de son orbite la plus rapprochée de nous, aussi son diamètre apparent augmente pendant ce temps. Comme alors nous marchons dans des directions

à-peu-près parallèles, et que Mercure avance beaucoup plus rapidement que nous, son mouvement devient très-sensible; et nous voyons l'astre disparaître bientôt dans les rayons du Soleil couchant, pour reparaître le matin, avant le jour. Pendant qu'il a décrit ce dernier arc, on dit que son mouvement a été *rétrograde*, c'est-à-dire, opposé à la direction du mouvement apparent du Soleil. Au bout de quelques jours, Mercure atteint encore sa plus grande élongation et redevient stationnaire comme la première fois; son diamètre apparent diminue, et bientôt l'astre se rapprochant du Soleil par un mouvement *direct*, se replonge le matin dans les rayons de l'aurore et reparaît encore le soir pour reproduire les mêmes phénomènes.

Ainsi l'orbite elliptique de Mercure, compris dans celui de notre Terre, nous paraît partagé en quatre arcs remarquables; deux sont à-peu-près perpendiculaires à la direction de notre Terre, et deux sont à-peu-près parallèles. Pendant que la planète parcourt les deux premières, elle semble stationnaire; pendant qu'elle parcourt les deux autres, elle semble avoir un mouvement direct ou rétrograde, selon qu'elle est à son *passage supérieur ou inférieur*. L'arc moyen de sa rétrogradation est d'environ $13^{\circ}\ \frac{1}{7}$, et sa durée moyenne de 23 jours. Mais il y a de grandes dif-

férences entre ces quantités dans les diverses rétrogradations.

La lumière que nous envoie Mercure, dépend en partie de ses phases, et en partie de son éloignement ; car dans les conjonctions supérieures et inférieures, elle vient de distances à-peu-près doubles l'une de l'autre. L'éclat le plus vif ne provient donc point du disque quand il est parfaitement rond, comme aux époques des pleines Lunes, à cause du trop grand éloignement de l'astre ; l'éclat n'est pas non plus le plus vif vers la conjonction inférieure, la partie éclairée étant alors presque entièrement tournée vers le Soleil : c'est donc en un point intermédiaire vers les rétrogradations.

On conçoit que Mercure doit présenter de temps en temps des éclipses dans ses différens passages. Mais ces éclipses sont assez rares ; l'on ne peut d'ailleurs observer que celles qui ont lieu dans les conjonctions inférieures, à cause du trop grand éclat du Soleil. On voit alors la planète se projeter sur le disque solaire, sous la forme d'une tache noire, qui décrit une corde de ce disque : les périodes qui ramènent ces passages sont de 6, de 7, de 13, de 46 et de 263 ans.

L'ellipse que décrit Mercure est la plus excentrique de toutes les orbites des planètes anciennement connues. L'excentricité vaut 0,2055141

de sa distance moyenne au Soleil ; et l'inclinaison de l'orbite sur l'écliptique est de 7°. Le diamètre de Mercure vaut 0,39 du rayon de la Terre ; conséquemment le volume vaut 0,05 de celui de notre globe, et la surface environ le sixième. Nous avons déjà vu que c'est le plus dense de tous les corps planétaires. La ligne de ses nœuds a, comme celle des nœuds de la Lune, un petit mouvement annuel d'orient en occident.

Il est à remarquer que l'hémisphère austral de Mercure, de même que celui de la Terre, de la Lune et de Vénus, semble offrir des montagnes beaucoup plus élevées que l'hémisphère opposé. On reconnaît à Mercure un mouvement de rotation en 24 heures 5' $\frac{1}{2}$ autour d'un axe fortement incliné sur le plan de son orbite ; ce qui doit y rendre l'inégalité des jours et des saisons fort sensible. On a aussi des raisons de croire cette planète enveloppée d'une atmosphère très-dense.

DE VÉNUS ♀.

Mercure, à cause de ses oscillations rapides autour du Soleil, a été considéré comme le symbole de la légèreté et du mouvement ; par une raison à-peu-près semblable, Vénus, qui paraît en même temps que l'aurore ou le crépuscule, semblait produire les rosées, et présentait l'image de la fécondité et des amours. Cette planète se

nomme encore l'*étoile du Berger,* et tantôt l'*étoile du Matin* ou *Lucifer,* tantôt l'*étoile du Soir* ou *Vesper*. Elle est généralement connue par la blancheur de sa lumière et la beauté de son éclat; souvent elle efface en splendeur toutes les autres étoiles, et brille déjà sur l'horizon avant la fin du jour. Il suffit d'une lunette très-ordinaire pour observer ses phases, et la voir dans ses conjonctions inférieures passer sur le disque du Soleil, lorsqu'elle se trouve dans des circonstances favorables pour produire ce phénomène. C'est à Galilée que l'on doit la première observation des phases de Vénus. On peut déjà conclure de ces dernières observations, que Vénus est un corps sphérique, opaque, qui circule autour du Soleil à une distance moindre que celle de notre Terre. Elle fait sa révolution dans une ellipse, dont le rayon moyen vaut 0,723 de celui de la Terre, et dont l'excentricité est seulement 0,006853 du demi-grand axe. Sa révolution annuelle et tropique s'achève en 224 jours 16^h 42'; son année sidérale est de 7' 44" plus longue, et vaut 224^j,701; quant à l'année synodique, elle ne se termine qu'au bout de 584 jours; on revoit alors Vénus revenir en conjonction avec le Soleil; mais sa longitude s'est accrue depuis la conjonction précédente d'un arc de 316°. De sorte qu'après cinq conjonctions, ou huit ans exactement, la longitude s'est accrue de 1080°, ou trois circonféren-

ces entières. Ainsi tous les huit ans les conjonctions de Vénus et du Soleil arrivent vers le même lieu du Ciel.

Vénus, dans ses plus grands écarts, ne s'éloigne pas de plus de 45 à 48 degrés du Soleil, et l'on ne peut guère l'observer pendant plus de trois à quatre heures, après la fin ou le commencement du jour. Cette planète nous paraît, pendant quarante semaines, comme étoile du matin, et pendant quarante autres comme étoile du soir. En parcourant son orbite, elle devient aussi, comme Mercure, deux fois stationnaire, et a, tour-à-tour, un mouvement direct et rétrograde. La rétrogradation commence ou finit quand la planète, en se rapprochant le soir du Soleil, ou en s'en éloignant le matin, en est distante d'environ 28 degrés. L'arc de sa rétrogradation est de 16° à-peu-près, et sa durée moyenne de 42 jours.

Le plus grand éclat de Vénus, comme celui de Mercure, ne s'observe pas lors des conjonctions; car le diamètre apparent est très-variable, à cause de l'inégalité de ses distances à différentes époques. Dans les conjonctions inférieures, en effet, l'astre n'est éloigné de nous que d'environ dix millions de lieues, tandis que dans les conjonctions supérieures sa distance est presque six fois plus grande. M. Arago a trouvé que la valeur moyenne du diamètre apparent est d'en-

viron 17". Lors des passages de l'astre sur le disque solaire, cette valeur est de près d'une minute.

L'on estime la *parallaxe de Vénus*, lors des passages de cet astre sur le Soleil, observés par différens spectateurs situés à de grandes distances. Cette planète et la Terre décrivent alors des arcs à-peu-près parallèles avec des vitesses peu différentes ; c'est ce qui fait que l'éclipse de Soleil, qui a lieu, peut durer jusque près de huit heures. On conçoit, du reste, qu'à cause de la grande proximité de Vénus dans cet instant, le centre de cet astre doit paraître décrire des cordes plus ou moins grandes sur le disque solaire aux différens observateurs répandus sur la surface du globe. Or c'est par l'inégalité de ces cordes, et des temps employés à les décrire, qu'on estime la parallaxe de Vénus, et conséquemment sa distance à la Terre au moment de la conjonction ; on en déduit aussi la parallaxe moyenne du Soleil. Les observations du passage de Venus, faites en 1761 et 1769, ont donné pour parallaxe moyenne du Soleil 8",64, et pour diamètre de Vénus 0,97 du diamètre de la Terre. On en conclut que le volume de la planète forme $\frac{9}{10}$ de celui de notre globe. Lors du passage de 1769, la différence des durées observées à Otaïti, dans la mer du Sud, et à Cajanebourg, dans la Laponie suédoise, surpassa 15 minutes. De pareilles quan-

tités étant très-facilement appréciables avec exactitude, doivent rendre les observations des passages précieux pour l'astronomie ; malheureusement ces phénomènes se présentent rarement : après s'être succédés dans l'intervalle de huit ans, ils ne reparaissent plus qu'après 113 ans et demi, pour se succéder encore ainsi périodiquement. Le prochain passage ne devra donc avoir lieu qu'en 1874, et le suivant en 1882. La cause de ces périodes est l'inclinaison de l'orbite de Vénus sur l'écliptique ; elle est de 3°24', et la planète paraît quelquefois s'écarter de ce plan de près de 9°. La ligne des nœuds se dirige maintenant du 75e degré de longitude vers le 255e. C'est donc vers les mois de juin et de décembre, temps auxquels le Soleil est dans les nœuds de Vénus, que ces passages s'observent ordinairement ; les passages de Mercure s'observent vers les mois de mai et de novembre, la ligne des nœuds de cette planète se dirigeant à-peu-près du 46e degré de longitude vers le 226e.

Lorsqu'on observe les passages de Vénus, il se présente deux phénomènes assez remarquables qui semblent dépendre de l'irradiation de la lumière. On voit une espèce de point noir, ou de ligament de même couleur, qui unit en un instant les deux bords de cette planète et du Soleil, lors même que les disques sont encore séparés : d'une autre part, le diamètre apparent de Vénus est

beaucoup plus petit qu'avant ou après l'éclipse. On doit aux observations de Cassini et de Schröter la connaissance du mouvement de rotation de Vénus autour d'un axe formant un angle de 15° avec l'écliptique ; ce qui doit y produire, comme sur Mercure, des saisons et des journées fort inégales. La durée de cette rotation paraît être de $0^j,973$. Elle fut reconnue par Cassini, qui découvrit aussi la rotation de Mars et de Jupiter. On a déjà pu remarquer combien Vénus a de ressemblance avec notre Terre pour la grandeur, pour la forme et pour l'inégalité des jours et des saisons. On a aussi reconnu de très-hautes montagnes à sa surface, et l'existence d'une atmosphère à-peu-près semblable à la nôtre. Quant à la chaleur, elle doit être à-peu-près double de ce qu'elle est sur notre Terre, de même que la lumière. Quelquefois on aperçoit, sur la partie non éclairée de Vénus, une lumière tantôt rouge, tantôt grisâtre, qui a fait croire qu'elle était due à quelqu'autre corps placé dans le voisinage, à-peu-près comme notre Lune. Ce phénomène, assez rare, paraît avoir de l'analogie avec nos aurores boréales.

On pense que les montagnes de Vénus peuvent bien être quatre fois plus élevées que les nôtres ; ce qui, à cause de la proximité du Soleil, doit y produire des effets de lumière et des tableaux variés auxquels nous ne sommes pas habitués sur

notre globe. Les apparences que présentent les corps célestes doivent y être, du reste, à-peu-près les mêmes que pour nous : on doit y voir Mercure et la Terre, à-peu-près comme nous voyons Vénus et Mars.

Des Planètes supérieures.

DE MARS ♂.

A la vue simple, Mars se présente sous l'apparence d'une étoile peu remarquable, dont l'éclat est rougeâtre ; mais, observé au moyen du télescope, son disque paraît tantôt circulaire, tantôt elliptique, selon qu'il se trouve éclairé par le Soleil. Ses phases ont cela de particulier, qu'elles n'offrent jamais un croissant, comme celles des deux planètes inférieures ; on peut en dire autant de toutes les planètes supérieures. Le disque se rétrécit d'autant moins, que la planète est plus éloignée du Soleil et de nous ; et on le concevra sans peine, en observant qu'une planète infiniment éloignée nous paraîtrait toujours entièrement illuminée, parce que nous la verrions à-peu-près comme si nous étions placés sur le Soleil même.

De cette première observation on peut conclure que Mars est un corps opaque de forme sphérique. On remarque quelquefois sur son disque des taches dont les formes sont très-varia-

bles, et qui ont fait reconnaître que la planète tourne sur elle-même dans l'espace de 1j,02733, et autour d'un axe incliné de 61°,30 à l'écliptique. Dans le voisinage de son équateur, et parallèlement à cette ligne, on aperçoit quelquefois des bandes ou filets. On remarque aussi que le diamètre est un peu plus petit dans le sens des pôles que dans celui de son équateur. Ces deux diamètres, selon M. Arago, sont dans le rapport de 189 à 194.

Mars paraît enveloppé d'une atmosphère assez épaisse; on a supposé que les taches qu'on voit fréquemment à sa surface pouvaient bien provenir d'agglomérations de nuages épais. L'inégalité de saisons et des jours doit y être très-sensible : on aperçoit alternativement dans le voisinage des pôles des régions blanchâtres et brillantes, selon que le Soleil éclaire l'un ou l'autre hémisphère; on attribue ce phénomène à la présence des neiges et des glaçons qui y séjournent pendant les longs hivers qu'on doit y éprouver.

Le mouvement de Mars est fort inégal en apparence. Après la conjonction, nous voyons l'astre se dégager le matin des rayons du Soleil et prendre un mouvement direct assez rapide qui se ralentit ensuite, et devient nul lorsque la distance au Soleil est de près de 147°. Après avoir été stationnaire, la planète paraît rétrograder jusqu'après l'opposition où elle devient encore

stationnaire pour reprendre son mouvement direct. On concevra facilement la rétrogradation apparente de Mars, si l'on conçoit que, vers l'opposition, cette planète décrit un arc à-peu-près parallèle à celui que décrit notre Terre, mais avec une vitesse moins grande ; en nous regardant comme dans un état de repos, Mars paraît reculer à-peu-près comme une voiture semble reculer aux yeux d'une personne assise dans une autre voiture qui suit la même direction et qui va beaucoup plus vite. L'arc de rétrogradation est d'environ 15 degrés, et la durée de 73 jours. Le temps de la révolution synodique ou du retour de l'astre à la même position, relativement au Soleil, est de près de 780 jours ; celui de la révolution sidérale est de 686j,98, et surpasse d'une heure et douze minutes sa révolution tropique. Son mouvement moyen est de 31'26" par jour. L'inclinaison de l'orbite est 1°51'3", et la ligne des nœuds s'étend dans la direction de 48° de longitude à-peu-près vers 228°.

Connaissant le temps de la révolution sidérale, on déduit de la troisième loi de Kepler que la distance moyenne de Mars au Soleil est 1,524 de la distance de la Terre au même astre. Nous sommes donc successivement à des distances bien inégales de Mars ; vers la conjonction, nous en sommes éloignés de 86 millions de lieues, et vers l'opposition, de 18 millions seulement.

Aussi le diamètre apparent de cette planète est très-variable ; à la moyenne distance il est de 6",4, et vers l'opposition, il s'élève à 18" : la parallaxe, dans ce dernier instant, est à-peu-près double de celle du Soleil. On prend quelquefois la parallaxe annuelle de Mars pour déterminer sa distance à la Terre.

Le diamètre de Mars, comparé à celui de notre globe, est de 0,56. De sorte que sa surface est à-peu-près $\frac{1}{3}$ et son volume $\frac{1}{5}$; mais sa masse n'est que le dixième de celle de notre planète, de sorte que sa pesanteur spécifique en est presque la moitié.

On comprend quelquefois sous le nom de Planètes *tellustriques*, Vénus, Mercure et Mars, à cause de leur ressemblance avec notre Terre. Cette dernière planète a cependant cela de particulier, qu'elle possède un satellite, tandis qu'on n'a pu en découvrir aux trois autres, ainsi qu'à Vesta, Junon, Cérès et Pallas, qui viennent à des distances plus grandes, et qu'on a désignées sous le nom d'*Astéroïdes* ou de *Planètes télescopiques*. On passe donc brusquement à Jupiter, Saturne et Uranus, qui ont chacun plusieurs satellites semblables a notre Lune. On a nommé ces astres les *Grandes Planètes* ou *Planètes à cortèges*, pour les distinguer des autres.

DES PLANÈTES VESTA ⚶, JUNON ⚵, CÉRÈS ⚳ ET PALLAS ⚴.

Nous avons déjà eu occasion de voir que Kepler avait supposé qu'il devait exister une lacune entre Mars et Jupiter. Ce ne fut que deux cents ans après que son opinion se trouva confirmée; le commencement de ce siècle, en effet, fut illustré par la découverte de *Cérès*, c'est à Piazzi qu'en appartient la gloire. Ce célèbre astronome fit sa découverte le 1er janvier 1801. Le 28 mars de l'année suivante, Olbers, à Bremen, fit la découverte de *Pallas*, et cinq ans après, à pareille époque, le même astronome annonça l'existence d'une quatrième planète nouvelle qu'on nomma *Vesta*; déjà *Harding* avait aperçu, à Bremen, la troisième planète nouvelle, *Junon*, et l'avait fait connaître le 1er septembre 1804. Ainsi, en moins de six ans, quatre planètes inconnues jusqu'alors furent ajoutées aux sept que l'on avait déjà observées.

Le voisinage des nouvelles planètes qui se trouvent à-peu-près également éloignées du Soleil, et qui se ressemblent sous tant de rapports, a fait croire qu'elles pouvaient bien être les éclats d'un autre corps céleste beaucoup plus grand, qui se serait brisé dans l'espace. Leur éloignement au Soleil est de 57,000 à 66,000

rayons terrestres, conséquemment leurs révolutions ont à-peu-près la même durée et sont de trois à quatre ans. Les astéroïdes se succèdent de la manière suivante, pour l'ordre des distances, Vesta, Junon, Cérès et Pallas. Quant aux dimensions, il paraît qu'il faut prendre l'ordre inverse. Les astronomes ne sont pas d'accord sur les volumes et les masses de ces petits corps planétaires, que l'on ne pourra bien connaître qu'après une longue série d'observations. Herschel, Schröter et d'autres astronomes, estimaient que le volume de Vesta n'était guère que la 25,000ᵉ partie de la Terre, et que conséquemment son diamètre était à-peu-près le 28ᵉ de celui de notre globe. Herschel prétendait même avoir trouvé que le diamètre de Cérès n'était que de 60 lieues, et celui de Junon de 25 : cette estimation a paru trop faible ; il semble même que Junon, quoique très-petite, est cependant plus grosse que Vesta. Quant à Pallas, que l'on regarde comme la plus considérable des quatre planètes nouvelles, elle ne serait pas, d'après Schröter, plus volumineuse que notre Lune. On a calculé que les volumes réunis des quatre planètes ne formeraient qu'environ le 25ᵉ de notre Terre. Tous les recoins de semblables corps seraient bientôt connus, s'ils avaient des habitans semblables à ceux de notre Terre. En prenant, avec la plupart des astronomes, 80 à 90 lieues pour diamètre de Vesta, dix jours

suffiraient à un bon piéton pour aller visiter les antipodes ; et il ne faudrait pas plus à un cavalier pour faire le tour d'un pareil globe. Tout le monde pourrait s'y connaître facilement, car la surface de ce monde formerait à peine l'étendue d'un de nos petits royaumes d'Europe.

A cause de l'exiguité de ces planètes, l'on n'a pu y reconnaître encore de rotation diurne. Vesta, la plus petite des quatre, paraît cependant la plus brillante et a l'eclat d'une étoile de 5e ou de 6e grandeur. Schröter, par ce motif, l'a mise au rang des corps qui brillaient de leur propre lumière ; les trois autres astéroïdes ne présentent que les apparences d'étoiles de neuvième et de dixième grandeurs. Cérès a une lumière très-variable, tantôt rougeâtre et vive, tantôt pâle et blanchâtre. Les astéroïdes présentent des phénomènes atmosphériques assez singuliers : Cérès et Pallas surtout paraissent enveloppés d'atmosphères très-denses, qui ont bien douze à quinze fois la hauteur de la nôtre. Les inclinaisons des orbites, surtout pour Junon et Pallas, ont des valeurs considérables ; il en est de même des excentricités des ellipses que décrivent ces deux astres. On a cru pendant long-temps que toutes les planètes devaient se mouvoir dans le zodiaque ; on a vu depuis que Pallas s'en éloignait alternativement, vers le nord et vers le sud, de plus de 24 degrés.

On trouvera plus loin, dans le tableau géné-

ral des élémens elliptiques des planètes, les élémens connus qui concernent les astéroïdes. Il faut observer cependant que l'on ne connaît encore, d'une manière un peu certaine, que les temps des révolutions, les distances ainsi que les excentricités et les inclinaisons des orbites. Les grandeurs des diamètres ont été donnés d'après Schröter.

DE JUPITER ♃ ET SES SATELLITES.

Jupiter se présente sous l'apparence d'une étoile de première grandeur, dont l'éclat brillant efface quelquefois celui de Vénus. Les phases de cette planète ne sont guère sensibles, par les raisons que nous avons exposées en parlant de Mars. A mesure que la distance au Soleil devient plus grande, les phases d'une planète sont moins apparentes, de sorte qu'elles sont à-peu-près nulles pour Saturne et Uranus.

Au moyen du télescope, on reconnaît à la surface de Jupiter des taches d'une forme souvent variable, ainsi que des bandes obscures, parallèles entr'elles. Cette observation a permis d'estimer que Jupiter a un mouvement de rotation diurne, d'occident en orient, qui s'accomplit dans une période de $0^j,41377$, et autour d'un axe faisant avec l'écliptique un angle de $86^\circ\,47'\,6$. Puisque l'équateur de Jupiter se confond à-peu-près

avec le plan de l'écliptique, il en résulte que l'inégalité des jours et des saisons doit y être peu appréciable, comme sur la Lune. Il paraît que Jupiter est enveloppé d'une atmosphère, et que c'est aux mouvemens divers des nuages qui s'y trouvent suspendus, que l'on doit attribuer les variations de quelques-unes des taches qu'on observe souvent sur le disque de la planète.

Jupiter se déplace lentement dans le Ciel, et n'avance guères que d'un degré de l'occident vers l'orient dans l'espace de 12 jours; de sorte qu'il emploie un an à passer d'un signe dans un autre, et près de douze ans, ou bien $4332^{j},596$, à accomplir sa révolution sidérale. Le temps d'une révolution synodique est de 399^{j}, après lesquels il reprend à-peu-près sa même position à l'égard du Soleil, mais sa longitude est augmentée de 30 degrés. La révolution sidérale est plus longue de deux jours que la révolution tropique.

On pourrait encore calculer ici la distance de Jupiter, d'après la loi de Kepler, dont nous nous sommes déjà servi; mais on peut employer une autre méthode, dont nous parlerons plus loin. On trouve ainsi que la distance du Soleil à la planète, vaut 5,203, en prenant pour unité la distance de la Terre, c'est-à-dire, environ 190 millions de lieues. L'orbite de Jupiter est inclinée sur l'écliptique sous un angle de $1°19'2''$,

et le rapport de l'excentricité au demi-grand axe est de 0,048.

Connaissant le nombre de lieues que le centre de Jupiter parcourt dans l'espace de $4332^{j},596$, on trouve que sa vitesse est de 178 lieues environ par minute. Si l'on pouvait se transporter sur cet astre, Mars, la Terre, Vénus et Mercure seraient à peine visibles, et sembleraient continuellement osciller autour du Soleil, en faisant de petites excursions. Quant au disque solaire, il paraîtrait 27 à 28 fois moins étendu que lorsqu'il est vu de la surface de notre Terre.

Jupiter, comme les autres planètes, présente le phénomène des rétrogradations. Après avoir eu pendant long-temps un mouvement direct, il semble rétrograder à l'opposition pendant 121 jours, en décrivant un arc de 9°54' : il paraît aussi deux fois stationnaire pendant une révolution synodique. La grandeur moyenne du diamètre apparent de cette planète est de 36" ; et, vers l'opposition, le diamètre apparent, à son maximum, a pour valeur environ 45". M. Arago a trouvé que le diamètre de cette planète, dans le sens des pôles, est à celui de son équateur à-peu-près dans le rapport de 167 à 177. Le diamètre de Jupiter, en prenant pour unité celui de la Terre, vaut 11,56; conséquemment le volume de cette planète vaut plus de 1470 fois celui de notre globe. Jupiter est même telle-

ment grand, qu'à lui seul il surpasse en volume tous les autres corps planétaires qui circulent autour du Soleil. Quelques savans ont émis l'hypothèse que c'était un corps incandescent qui se refroidit peu-à-peu, mais qui n'est point encore parvenu au terme de pouvoir être habitable.

Au moyen d'instrumens d'optiques d'une force assez médiocre, on aperçoit, dans le voisinage de Jupiter, quatre satellites ou petites lunes qui circulent autour de cette planète dans des ellipses très-peu excentriques. Les éclipses auxquelles ils donnent lieu, ont fait juger que c'étaient des corps opaques, ainsi que l'astre central de l'équateur duquel elles s'écartent très-peu. On doit la découverte des satellites de Jupiter aux observations du célèbre Galilée. Le *premier* et le *quatrième* paraissent être à-peu-près grands comme Mercure, et le *second* et le *troisième*, comme notre Lune. On a donné à ces satellites les noms d'Hébé, de Ganimède, de Thémis et de Métis, qui sont peu usités aujourd'hui.

Le mouvement de tous les satellites connus, se fait, comme nous l'avons déjà remarqué, dans le même sens que celui des planètes, c'est-à-dire, d'occident en orient. On a reconnu, à quelques-uns d'entre eux, un mouvement de rotation diurne qui se fait dans le même sens et dont la durée égale celle des révolutions de ces corps.

Voici une méthode assez simple pour déter-

miner la durée de la révolution d'un satellite autour de Jupiter. Supposons que de la Terre t on aperçoive le satellite s en conjonction avec Jupiter j, dans la direction d'une étoile e; et que la Terre se transporte en t' pour l'époque de la conjonction suivante. Dans cet intervalle, Jupiter se portera en j' et le satellite aura décrit une circonférence entière, plus l'arc $s'' s'$, quand il reviendra à la seconde conjonction; mais l'arc $s' s''$ ou l'angle $t' j' s'$ est égal à l'angle $j' t' e$, parce qu'à cause de l'éloignement immense des étoiles, on peut regarder les rayons vecteurs $s' e'$, $s e$ et $t' e$ comme sensiblement parallèles. Ainsi le satellite a parcouru une circonférence, et l'arc connu $s' s''$ dans le même temps que la Terre s'est transportée de t en t'. Avec ces deux données, on estime, par une simple proportion, le temps employé par un satellite à faire une révolution sidérale. Il est bon d'observer que l'angle $j' t' e$ est formé par les rayons vecteurs menés de la Terre dans sa seconde position vers le satellite en conjonction, et vers l'étoile aperçue d'abord dans la direction $t s e$ (*fig.* 13).

En comparant l'angle des plus grands écarts $s' t' j'$ d'un satellite à l'angle sous lequel on voit le rayon apparent de Jupiter, on détermine assez bien la distance moyenne d'un satellite à Jupiter, en prenant pour unité le rayon de cette dernière planète. Voici un tableau où se trouvent

réunis ces principaux élémens, ainsi que les masses des satellites qui ont été calculés d'après des principes que nous exposerons dans le livre suivant.

	DISTANCE moyenne	DURÉE.	MASSES.	INCLIN. sur l'équat. de Jupiter.
1er Satellite.	6,04853	1j76914	0,000017	3", 2
2e	9,62347	3,55118	0,000023	1' 4", 4
3e	15,35024	7,15455	0,000088	3' 21", 6
4e	26,99835	16,68877	0,000043	23' 49", 4

On a pris pour unité de distance le demi-diamètre de Jupiter, et pour unité de masse, la masse de cette même planète. L'observation a fait reconnaître, à l'égard des satellites, les deux résultats suivans. En comparant les temps des révolutions, on voit que la durée de la révolution du premier satellite est environ la moitié de celle du deuxième, qui n'est elle-même qu'environ la moitié de celle de la révolution du troisième satellite. Ainsi, les moyens mouvemens angulaires de ces trois satellites suivent à-peu-près une progression sous-double. S'ils la suivaient exactement, comme l'observe M. De Laplace, le moyen mouvement du premier satellite, plus deux fois celui du troisième, serait rigoureuse-

ment égal à trois fois le moyen mouvement du du second satellite. On a remarqué aussi que depuis la découverte des satellites, la longitude moyenne du premier, moins trois fois celle du second, plus deux fois celle du troisième, n'a jamais différé de deux angles droits que de quantités presque insensibles. Ces deux résultats subsistent également entre les moyens mouvemens et les longitudes moyennes synodiques. On peut conclure du second, que, dans les éclipses simultanées du second et du troisième satellites, le premier sera toujours en conjonction avec Jupiter : il sera toujours en opposition dans les éclipses simultanées du Soleil, produites sur Jupiter par les deux autres satellites.

La durée d'une éclipse, pour le premier satellite, est d'environ 2 heures et 15 minutes. Une éclipse du deuxième satellite est plus longue de près de 36', et celle du troisième, de 1^h 18'. Les éclipses les plus longues sont celles du quatrième satellite; elles durent près de $4^h \frac{1}{4}$. L'inégalité de la durée des éclipses provient de l'inégalité du mouvement des satellites, lequel est d'autant plus rapide que la distance à l'astre central est moins grande. On retrouve encore ici la confirmation des lois de Kepler.

L'observation des éclipses des satellites de Jupiter, qui se reproduisent très-fréquemment, est de la plus grande utilité pour la détermina-

tion des longitudes en mer. Les époques de ces éclipses sont calculées pour un lieu donné ; par exemple, pour Paris (voy. la *Connaissance des Temps*). Or, si en voyageant, on se trouve sous le méridien de Paris, on observera l'éclipse à l'heure calculée pour cette ville. Si l'on se trouve, au contraire, sous un autre méridien, on observera le phénomène à une autre heure, et l'on connaîtra la différence en longitude en comptant 15° par heure. Les éclipses du premier satellite se reproduisent après $42^h,48$; celles du second, après $85^h,3$; et celle des troisième et quatrième, après $7^j\ 4^h$ et 17^j.

L'observation des éclipses du premier satellite de Jupiter a fait connaître la vitesse de la lumière : c'est à Rœmer, astronome danois, que l'on doit cette importante découverte. On peut calculer d'avance, comme nous l'avons vu, l'époque de ces éclipses ; or, Rœmer observa que le phénomène arrivait toujours environ 16' 26" plus tard quand Jupiter était en conjonction de l'autre côté de l'écliptique que lorsqu'il était de notre côté en opposition ; il conclut de là que la lumière employait ce temps à traverser l'orbite de la Terre, c'est-à-dire, environ 79 millions de lieues. La vitesse de la lumière a expliqué d'une manière très-satisfaisante le phénomène connu sous le nom d'*aberration*. Voici en quoi il consiste : les étoiles situées vers le pôle de l'é-

cliptique, semblent décrire annuellement des cercles de 20",25 de rayon, plus les astres se rapprochent de l'écliptique, plus ces petits cercles se rétrécissent dans un sens; de sorte que ceux qui sont dans l'écliptique même, semblent osciller autour de leur véritable position le long d'une droite, et les plus grands écarts sont aussi de 20"25. Si la lumière nous arrivait instantanément des étoiles, un pareil phénomène ne s'observerait pas, ou bien encore si la Terre était en repos. Mais la lumière parcourt le rayon de l'écliptique en 8'13", et pendant ce temps la Terre a parcouru un petit arc de 20",25. Or, pendant que nous avançons ainsi dans l'espace, pour ainsi dire à notre insu, nous recevons des rayons de lumière partis depuis long-temps de l'étoile qui les a émis : d'où il résulte que nous jugeons cette étoile dans une autre position que celle qu'elle a véritablement. Pour nous rendre compte de ceci, supposons que *a t* représente le rayon de l'écliptique, et *t t'* un arc de 20",25 (*fig.* 14). Ces deux droites représenteront le mouvement de la lumière, et celui de la Terre dans le même temps; mais le mouvement de la lumière qui paraîtra avoir effectivement lieu, sera indiqué par la diagonale *a' t* du parallélogramme *a t t' a'*, comme l'enseignent les principes de mécanique. On voit que l'angle *a t a'*, dont le rayon lumineux paraît dévié, est de 20",25; nous avons eu l'avantage

de pouvoir calculer cet angle sur l'orbite même de la Terre. M. Francœur emploie une comparaison qui rend l'effet de la composition de ces deux mouvemens très-sensible. Si l'on est dans une voiture en repos, dit-il, et ouverte par devant seulement, on sera abrité de la pluie qui tomberait verticalement : mais si la voiture court, elle se présentera au-dessous de la pluie avant que l'eau ait pu atteindre à terre : on recevra donc la pluie, qui semblera tomber obliquement vers nous. La correction de l'aberration de la lumière doit être rangée parmi les autres corrections que nous avons déjà indiquées. Sa valeur est positive ou négative, selon la direction du mouvement de la Terre par rapport à l'astre.

Les éclipses des satellites de Jupiter ont encore permis d'apprécier la distance de cette planète au Soleil, à défaut de parallaxe ; car, vu de Jupiter, le diamètre de notre Terre serait difficilement appréciable. Concevons un triangle qui ait ses trois sommets aux centres du Soleil, de la Terre et de Jupiter ; on peut connaître, dans ce triangle, un côté et les deux angles adjacens ; c'est-à-dire, la distance de la Terre au Soleil, qu'on suppose déjà calculée, l'angle sous lequel on aperçoit de la Terre Jupiter et le Soleil, angle que donne l'observation, et enfin l'angle sous lequel on aperçoit du dernier astre les deux autres. Or, ce dernier angle s'obtient de la manière sui-

vante. Un satellite, au milieu d'une éclipse, est sur le côté du triangle qui passe par le centre du Soleil et celui de Jupiter; mais la direction de ce côté peut s'estimer facilement par le mouvement du satellite; le triangle se trouve donc entièrement déterminé. Lors même qu'on ne connaîtrait pas la distance de la Terre au Soleil, on pourrait, par cette méthode, apprécier les distances relatives des trois astres, à-peu-près comme le faisait Aristarque pour la Lune, le Soleil et la Terre.

Vu d'un de ses satellites, le disque de Jupiter doit présenter un spectacle bien imposant. Si nous pouvions nous transporter sur le premier satellite, par exemple, nous serions éloignés de Jupiter, à-peu-près comme le serait un sélénite de notre Terre; nous apercevrions à peine Mars, la Terre, Vénus et les autres planètes inférieures; le disque du Soleil nous paraîtrait vingt-sept fois plus petit que nous ne le voyons ordinairement, mais le disque de Jupiter, toujours suspendu au même endroit du Ciel, tant que nous ne changerions pas de place, nous offrirait une surface environ quinze cents fois plus grande que celle que nous voyons au disque lunaire ou solaire; conséquemment le disque de cet astre paraîtrait occuper une grande partie du Ciel.

DE SATURNE. ♄

Placé à plus de 329 millions de lieues du Soleil, Saturne se présente accompagné de sept satellites et offre un spectacle unique dans l'univers. Cette planète est enveloppée d'un corps circulaire, qui a la forme d'un double anneau large, plat et fort mince. La largeur de ce double anneau vaut à-peu-près 7 rayons de la Terre, et son diamètre entier environ 45. L'astronome hollandais Huyghens, parvint le premier à expliquer la nature d'un corps qui offrait des phases si singulières. Cet anneau est incliné de 28° 40' au plan de l'écliptique, et ne se présente jamais qu'obliquement à la Terre, sous la forme d'une ellipse. Tantôt nous voyons une face, tantôt l'autre; quelquefois l'anneau disparaît, lorsque nous nous trouvons dans son plan, dont l'épaisseur est trop mince pour être aperçue; il disparaît encore, quand c'est le Soleil qui se trouve dans son plan et n'en éclaire que l'épaisseur; il continue alors à être invisible tant que le Soleil et la Terre ne se trouvent pas du même côté que l'anneau. Herschel, au moyen de son grand télescope, a continué à voir l'anneau par le bord, lorsqu'il avait disparu pour les autres observateurs. Il a reconnu aussi, par l'observation de quelques points brillans, qu'il tourne d'occident en orient dans l'espace de $0^j,437$, autour d'un axe perpendiculaire

à son plan, et passant par le centre de Saturne, tandis que cette planète tourne autour du même axe et dans le même sens, dans la période de 0^j428. On doit encore au même astronome l'observation de cinq bandes à la surface de Saturne, à-peu-près parallèles à son équateur. On a reconnu aussi que Saturne n'était pas parfaitement sphérique; et que le diamètre perpendiculaire au plan de l'anneau, était au diamatre situé dans ce plan, comme 10 est à 11. Les phases de l'anneau et l'ombre projetée sur le disque de la planète, prouvent suffisamment que ces deux corps sont opaques.

L'inclinaison de l'anneau sur l'écliptique se mesure assez facilement par la plus grande ouverture de l'ellipse qu'il nous présente. Quant à la position de la ligne des nœuds, on peut la déterminer par la situation apparente de la planète au moment où l'anneau disparaît, parce que la Terre se trouve alors sur cette ligne même. La disparition de l'anneau, quand c'est le Soleil qui se trouve dans son plan, donne le moyen d'estimer la distance de Saturne, à.peu-près comme nous l'avons indiqué pour Jupiter. Supposons en effet un triangle S T *s* qui ait ses trois sommets aux centres du Soleil, de la Terre et de Saturne (fig. 15). La distance de la Terre au Soleil est censée connue; on peut observer l'angle S T *s* au centre de la Terre; on a aussi l'angle T S *s* au centre du So-

leil, parce que l'on a la position des nœuds au moment où l'anneau devient invisible. On trouve ainsi, en prenant pour unité la distance moyenne ST de la Terre au Soleil, que la distance moyenne de Saturne S*s* est 9,539. Le diamètre de la même planète vaut 9,61, celui de la Terre servant d'unité ; d'où résulte que ce globe vaut environ 888 fois le volume du nôtre. Malgré la grandeur de Saturne, sa lumière est pâle et plombée ; ce qui provient de son grand éloignement. De sa surface, on ne doit guères apercevoir que Jupiter et le Soleil, dont le diamètre apparent doit y avoir à-peu-près 3'. Si ce corps planétaire n'est échauffé que par le Soleil, le froid doit y être excessif. La lumière doit aussi y être très-faible, et les saisons aussi longues que les jours y sont courts. Les habitans, s'il en existe, doivent sans doute voir avec étonnement l'anneau qui entoure leur planète et qui n'est éloigné d'eux que de près de 7 rayons de notre Terre, ou bien environ 9000 lieues. Le double anneau paraît aussi avoir environ 9000 lieues de largeur : l'espace séparant les deux anneaux est évalué à 900 lieues, la largeur de l'anneau intérieur à 6000 lieues, et celle de l'extérieur à 2300 lieues, tandis que l'épaisseur de l'un et de l'autre paraît très-faible, mais hérissée de plusieurs fortes montagnes. M. de la Place regarde comme vraisemblable que les anneaux de Saturne sont des zônes

condensées, abandonnées par l'atmosphère de la planète.

L'orbite de Saturne est faiblement inclinée sur l'écliptique, et ne forme avec ce plan qu'un angle de 2° et demi. L'excentricité est de 0,0562 du demi-grand axe. La planète emploie 29 ans et demi, ou plus exactement 10758j,97 à faire sa révolution sidérale, et environ 12 jours de moins pour la révolution tropique. La durée de la révolution synodique est de 378 jours. On voit Saturne se déplacer lentement et parcourir un degré par mois, ou un signe seulement dans l'espace de deux ans et demi. La durée de sa rétrogradation est de près de 139 jours, et l'étendue de l'arc de 6° $\frac{3}{4}$.

Les orbes des six premiers satellites de Saturne paraissent être dans le plan de l'anneau, tandis que l'orbe du septième s'en écarte sensiblement. L'observation de ces petits corps devient très-difficile à cause de leur grand éloignement, et il a fallu d'excellens instrumens d'optique pour parvenir à les reconnaître. On voit encore se confirmer ici les importantes lois de Kepler; en prenant pour unité le rayon de l'équateur de la planète, on trouve, pour les distances moyennes des satellites, et pour le temps de leurs révolutions, les valeurs suivantes :

	DISTANCES moyennes.	DURÉES.
1er satellite. . . .	3,351	0j94271
2e.	4,300	1,37024
3e.	5,284	1,88780
4e.	6,819	2,73948
5e.	9,524	4,51749
6e.	22,081	15,94530
7e.	64,359	79,32960

URANUS. ♅

Uranus, relégué à l'extrémité de notre système planétaire, n'a que l'apparence d'une étoile de sixième ou de septième grandeur, et est rarement visible à l'œil nu. Cette planète fut découverte en 1781 par le célèbre Herschel : elle avait déjà été observée par Flamsteed, à la fin du dix-septième siècle, de même que par les astronomes Mayer, Bradley et Lemonnier, qui l'avaient prise pour une petite étoile. Uranus décrit autour du Soleil une ellipse dont le rayon moyen vaut 19,183 rayons de l'écliptique ; l'excentricité vaut 0,0467 du demi-grand axe ; et l'inclinaison de son plan sur l'écliptique n'est que de $0^\circ,774$. On conçoit que le mouvement de cette planète doit être excessivement lent, vu son grand éloignement du Soleil, qui est d'environ 660 millions

de lieues. La lumière du Soleil, qui nous arrive en 8' 13", emploie près de 2 heures trois quarts à arriver jusqu'à Uranus. L'intensité de cette lumière et de la chaleur y doivent être 400 fois moindre que sur notre Terre, et le Soleil n'y doit guères paraître que comme une étoile de première grandeur.

La révolution sidérale d'Uranus s'accomplit en 30688j,713, ou bien en 84 ans 8 jours 18 heures; la révolution tropique est de 99 jours 9 heures plus courte. Quant à la révolution synodique, elle n'est que de 369 jours et 10 heures. Le moyen mouvement tropique est de 42" par jour, ou de 42' par 60 jours, ce qui fait à-peu-près un degré par saison. La durée de la rétrogradation de la planète est à-peu-près de 151 jours, et l'arc de rétrogradation de 3° 36'. On n'a point encore pu reconnaître de mouvement de rotation à Uranus, à cause du grand éloignement de cette planète. L'analogie porte à croire qu'il est très-rapide, comme sur Jupiter et Saturne.

Le diamètre d'Uranus est quatre fois et demi celui de la Terre, et le volume soixante-dix-sept fois et demi celui de la Terre, mais la densité est à-peu-près le cinquième de celle de notre globe.

Le célèbre Herschel, au moyen de son grand télescope, a reconnu six satellites à Uranus, lesquels se meuvent autour de cette planète, dans

des orbes presque circulaires et perpendiculaires au plan de l'écliptique ; ce qui porterait à croire que l'équateur d'Uranus doit avoir une inclinaison semblable. L'observation de ces satellites est très-difficile ; aussi les autres astronomes n'ont pu observer, au moyen de leurs instrumens, d'une manière satisfaisante, que le second et le quatrième. On a calculé les durées des révolutions des quatre autres satellites d'après leurs plus grandes élongations et d'après la loi de Kepler, suivant laquelle les carrés des temps des révolution, sont comme les cubes des moyennes distances à l'astre central. Voici les distances des satellites d'Uranus, en prenant pour unité le rayon de la planète, ainsi que les temps des révolutions sidérales.

	DISTANCES. moyennes.	DURÉES.
1er satellite. . . .	13,120	5j8926
2e.	17,022	8,7068
3e.	19,845	10,9611
4e.	22,752	13,4559
5e.	45,507	38,0750
6e.	91,008	107,6944

On a cru, pendant quelque temps, qu'Uranus était aussi enveloppé d'un anneau comme Saturne;

mais cette assertion n'a point été confirmée par l'observation (1).

Le tableau suivant, qui renferme les principaux élémens des planètes connues, formera, pour ainsi dire, le résumé de tout ce qui précède. Les autres élémens qui ne sont pas encore déterminés d'une manière assez certaine, n'ont pu être indiqués.

(1) On a d'excellentes tables d'Uranus, calculées par M. Bouvard, à qui l'on doit aussi des tables de Jupiter et de Saturne.

Élémens du Mouvement elliptique des Planètes, pour le commencement de 1801.

	DISTANCES moyennes au Soleil.	DURÉES DES RÉVOLUTIONS sidérales.	synodiques.	Excentricité.	INCL. de l'orbite	LONGITUDES des nœuds ascendans.	de la Pl.	du périh.
☿	0,387	87j969	115j877	0,2055	7°	45°96	163°94	74°36
♀	0,723	224,701	583,920	0,0069	3,39	74,86	10,74	128,62
♁	1,000	365,256	»	0,0169	»	»	100,15	279,50
♂	1,524	686,980	779,936	0,0931	1,85	48,02	64,12	332,41
⚶*	2,373	1335,205	505,	0,0891	7,13	103,16	105,90	250,30
⚵	2,667	1590,908	474,	0,2543	13,08	171,14	95,23	53,22
⚳	2,767	1681,539	466,	0,0785	10,62	78,89	61,13	146,78
⚴	2,768	1681,709	466,	0,2416	34,63	172,54	126,66	120,91
♃	5,203	4332,596	398,867	0,0482	1,31	98,43	112,21	11,14
♄	9,539	10758,970	378,090	0,0562	2,51	111,92	135,34	89,15
♅	19,183	30688,712	369,656	0,0467	0,77	72,85	177,79	167,36
☾**	0,0025	27,32158	29,53059	0,0549	5,15	»	»	»

* Les longitudes pour les astéroïdes sont indiquées pour le commencement de 1819.

** Les nombres qui concernent la Lune, se rapportent à la Terre.

Tableau de quelques autres Élémens des corps planétaires.

	Diamètre.	Volume.	Masse.	Densité.	Durées des rotations.	Inclin. de l'axe.	Lieues parcourues en 1°.	Temps de rétrog.	Arc de rétrog.
☼	109,93	1328,460	354936,	0,26	25j500	82°68	»	»	»
☿	0,39	0,05	0,175	2,95	1,000	»	653	23j	13°5
♀	0,97	0,9	0,895	0,99	0,973	15,	485	42,2	15,5
♁	1,00	1,0	1,0	1,00	0,997	66,52	412	»	»
♂	0,56	0,17	0,139	0,79	1,027	61,30	329	72,8	14,7
🜨	0,03	0,00003	»	»	»	»	»	»	»
⚵	0,17	0,005	»	»	»	»	»	»	»
⚳	0,19	0,007	»	»	»	»	252	97,5	10,5
⚴	0,24	0,015	»	»	»	»	»	»	»
♃	11,56	1470,2	339,3	0,23	0,414	86,9	178	120,7	9,9
♄	9,61	887,3	101,1	0,11	0,428	60,	132	137,6	6,7
♅	4,26	77,5	19,81	0,26	»	»	93	151,7	3,8
☾	0,27	0,02	0,015	0,75	27,322	88,51	14	»	»

CHAPITRE VI.

DES COMÈTES, DES AÉROLITHES ET DES ÉTOILES FILANTES.

Des Comètes.

Les comètes qui pendant si long-temps ont été des sujets de terreur pour les peuples, lorsqu'on n'avait encore que des idées très-imparfaites sur leur grandeur, leur distance, et la nature de leurs mouvemens, ont éte dépouillées de tout leur prestige depuis les progrès des connaissances astronomiques. Leur apparition, de même que celle des éclipses, est rentrée dans la classe des phénomènes ordinaires, lorsqu'on a su que ces corps étaient soumis aux mêmes lois que les autres astres, qu'on pouvait même prédire les retours de quelques-uns d'entre eux, et annoncer, après trois observations seulement, le chemin que chacun d'eux devait suivre en particulier dans le Ciel. Les astronomes, toujours attentifs aux phénomènes que présente la voûte céleste, aperçoivent aujourd'hui, au moyen de leurs instrumens, et par l'habitude qu'ils ont acquise, les comètes nouvelles long-temps avant le vulgaire, et il arrive souvent qu'ils ont calculé toutes les circonstances de leurs mouvemens, avant même que ces astres deviennent visibles à l'œil nu. Aussi la crainte

qu'inspirent les comètes, se trouve considérablement diminuée, et l'on ne verrait plus de nos jours, ces astres exorcisés par un chef de l'église, comme ils le furent autrefois par le pape Callixte II.

La crainte qui exagère tout ce qui se rattache aux causes qui la font naître, a produit anciennement les récits les plus extravagans sur l'apparition des comètes. Justin, en parlant des phénomênes qui annoncèrent la grandeur future de Mithridate, dit, qu'à la naissance de ce prince, une comète brilla, pendant soixante-dix jours, d'un éclat tel que tout le Ciel paraissait en feu; qu'elle effaçait la lumière du Soleil, occupait le quart du firmament, et employait quatre heures à se lever et à se coucher. Nous ne nous arrêterons pas à rapporter d'autres récits non moins exagérés, nous nous contenterons d'observer que des apparitions aussi extraordinaires n'ont plus eu lieu, lorsque les descriptions en ont été faites plus tard par les astronomes mêmes.

Quand on observe une comète, au moyen des lunettes, on lui trouve ordinairement un *noyau* opaque, entouré d'une *nébulosité*, ou *chevelure*, qui paraît être son atmosphère. Souvent aussi la comète laisse derrière elle, dans la partie du Ciel opposée au Soleil, une *queue* lumineuse qui peut affecter différentes formes. Appien paraît avoir indiqué le premier cette direction. Les comètes

étaient encore si peu connues de son temps, que l'on doutait si ce n'étaient point des météores qui se produisaient dans notre atmosphère. On a reconnu, depuis, que ces astres, qui se sont montrés jusqu'à présent toujours plus éloignés de nous que de la Lune, parcourent des *ellipses* très-excentriques; peut-être même quelques-uns décrivent des *paraboles*, au foyer commun desquelles se trouve le Soleil. Nous pouvons assurer, disons-nous, qu'il existe des comètes qui circulent dans des ellipses, puisqu'on a pu calculer leurs retours avec assez de précision : tandis qu'on n'a pas les mêmes raisons pour soutenir qu'il en est qui décrivent des paraboles, et encore moins des *hyperboles;* car lorsqu'une ellipse est très-excentrique, il est facile de confondre ses arcs avec des arcs de parabole.

On a cru reconnaître des phases à plusieurs comètes, et particulièrement à celle qui parut en 1682 : en sorte que les comètes pourraient être considérées comme des corps opaques. Quelques astronomes pourtant ont prétendu avoir distingué des étoiles à travers le noyau. Delambre observe que l'effet de la réfraction a pu faire paraître sur le bord antérieur du disque une étoile qui était cachée par le noyau. Cependant la comète de 1819 et celle à *courte période*, dont nous parlerons bientôt, ont passé sur le disque du Soleil, sans qu'on ait remarqué de tache pendant leur passage.

Les comètes présentent ordinairement très-peu de volume, et l'on pourrait révoquer en doute l'assertion d'Hévélius, qui prétend en avoir observé une dont le diamètre apparent était à-peu-près égal à celui de la Lune. Du reste, la grandeur d'une comète, de même que l'étendue de la queue, dépend de la distance de l'astre. On a vu des comètes qui présentaient des queues excessivement étendues, et qui soustendaient même des arcs de 90 degrés : d'autres en étaient entièrement dépourvues; d'autres présentaient en même temps plusieurs faisceaux lumineux, quelquefois tourné du côté du Soleil, comme on l'a remarqué dans la comète du 23 janvier 1824. Cette dernière observation, qui ne s'accorde nullement avec celle d'Apien, s'est reproduite plusieurs fois. L'opinion la plus commune est que les queues des comètes sont produites par les vapeurs qui se forment à la surface de ces astres dans le voisinage du Soleil, et qui se dispersent ensuite dans l'espace. Il faut convenir cependant que cette hypothèse, qui paraît très-simple au premier abord, n'explique pas avec une égale facilité tous les résultats des observations.

Comme les comètes circulent dans des ellipses très-excentriques, qui ressemblent beaucoup à des paraboles, et que ces dernières trajectoires sont plus faciles à calculer que les premières, les astronomes commencent, pour plus de simplicité, par supposer à la comète, dont ils veulent déter-

miner l'orbite, un mouvement parabolique. Il suffit alors d'employer, pour élémens du calcul, trois observations faites à certains intervalles de temps et avec la plus grande précision. Si l'on a ensuite des raisons de croire que l'astre décrit une ellipse plutôt qu'une parabole, on commence un nouveau calcul en employant quatre observations. Il existe différentes méthodes pour ce genre de calcul, et toutes sont plus ou moins longues. Les plus généralement suivies sont celles de Laplace, Olbers, Legendre, Gauss, Lagrange, etc. Il existe aussi une méthode basée sur les règles de fausses positions, dont on ne se sert plus aujourd'hui. En calculant l'orbite d'une comète, on a principalement pour but de connaître : 1° la *ligne des nœuds* ou la longitude de la ligne d'intersection de l'orbite de la comète avec l'écliptique ; 2° l'*inclinaison* de cette orbite sur le même plan de l'écliptique ; 3° la *distance périhélie*, ou la plus courte distance de la comète au Soleil, exprimée en parties de la distance de la Terre ; 4° l'instant du *passage* de la comète au périhélie ; 5° la *longitude du périhélie*, que l'on a coutume d'évaluer sur l'orbite même de la comète, à partir de la ligne des nœuds et dans l'ordre des signes ; enfin, l'on a soin d'indiquer si le mouvement est *direct* ou *rétrograde*, c'est-à-dire, si l'astre avance dans le sens des signes ou dans un sens opposé. Nous avons remarqué que les pla-

nètes marchaient toutes dans l'ordre des signes ou d'occident en orient, quoique offrant de temps en temps un mouvement rétrograde apparent. Il n'en est pas de même de comètes ; car sur 129 dont les orbites sont maintenant déterminées, il y en a 68 dont le mouvement est direct, et 61 pour lesquelles il est rétrograde. Il est également remarquable que les orbites des comètes font, avec l'écliptique, tous les angles possibles, tandis que la plus grande inclinaison connue, pour les planètes, ne dépasse pas 35°. Ce qui distingue encore les comètes, c'est la grande excentricité des ellipses qu'elles décrivent ; sans cette dernière circonstance caractéristique, il faudrait compter plusieurs comètes au nombre des planètes.

Pendant quelque temps les astronomes, et particulièrement Cassini, crurent que les trajectoires des comètes étaient des droites ; et l'on peut confondre, en effet, assez facilement un arc de parabole ou d'ellipse très-excentrique avec une droite, lorsque cet arc a peu d'étendue. Il arrivait de là qu'ils faisaient souvent deux comètes d'une seule qui avait disparu pendant quelque temps, à son périhélie, dans les rayons du Soleil.

Newton, en Angleterre, et Doerfel, en Allemagne, parvinrent les premiers à soumettre au calcul le mouvement d'une comète; et ils s'at-

tachèrent à déterminer l'orbite de celle qui parut en 1680. Halley fit ensuite l'application de la méthode de Newton à un grand nombre d'observations, et trouva que la comète qui se montra en 1682, était la même que celle qui s'était montrée succesivement en 1456, 1531, 1607. Il reconnut qne la période de ses apparitions était de soixante-quinze ans environ, et il prédit son retour pour l'année 1759. Clairaut calcula même l'instant où l'astre devait passer au périhélie, et ses résultats furent pleinement confirmés par l'observation. Le grand axe de l'orbite, en prenant pour unité la distance moyenne de la Terre au Soleil, vaut 35,9, et la distance périhélie n'est que 0,58. En remontant à des époques plus reculées, on trouve qu'il parut successivement deux comètes dans les années 1305 et 1380; mais les observations ont été faites avec trop peu d'exactitude pour qu'on puisse établir leur identité avec celle de Halley. Cette dernière comète doit se représenter encore dans l'année 1835, et passer au périhélie le 16 novembre, d'après le calcul de M. Damoiseau.

Halley fut moins heureux en soupçonnant que la comète de 1661 avait déjà paru en 1532, et devait se reproduire après une période de 128 à 129 ans. D'après cette conjoncture, l'astre aurait dû reparaître en 1789 ou 1790, ce qui n'est point arrivé. Halley supposa encore à la comète de

1680 une période de 575 ans, et crut que c'était le même astre qui s'était montré successivement, sous une forme très-apparente, dans les années 1106, 531 et 46 ans avant J. C., lors de la mort de César. En rétrogradant ainsi de 575 ans, il alla même jusqu'à penser que cette comète a dû paraître lors du déluge, dont elle aurait été la principale cause. Cette opinion a surtout été soutenue par Whiston; mais elle est rangée aujourd'hui dans la classe des hypothèses peu vraisemblables. Il faut beaucoup de circonspection dans les conséquences que l'on tire des résultats obtenus en calculant le mouvement elliptique d'une comète: ces résultats, s'ils ne sont appuyés sur d'excellentes observations, peuvent présenter des différences considérables. Euler faisait la période de cette même comète de 1680, de 170 ans et demi, et Pingré trouvait 15,864 ans. Ces résultats étaient déduits des observations, tandis que Halley supposait la révolution donnée.

La comète dont on connaît aujourd'hui le mieux les mouvemens et les retours périodiques, est celle qui est connue sous le nom de *Comète à courte période* ou *des douze cents jours,* ou bien encore *Comète d'Enke*, parce que cet astronome a calculé le premier son mouvement elliptique. Comme cet astre joue un rôle important dans notre système planétaire, nous allons donner l'abrégé historique de sa découverte, d'après une

notice de M. Arago, insérée dans l'Annuaire pour 1824.

« Le 26 novembre 1818, M. Pons aperçut à Marseille une comète qui, par sa forme, n'avait rien de remarquable. Après l'avoir observée à Paris, on calcula, comme à l'ordinaire, les élémens paraboliques de l'orbite. Le 13 janvier 1819, M. Bouvard présenta ces élémens au bureau des longitudes :

La distance périhélie était.	0,353
La longitude du nœud ascendant.	329° 5'
La longitude du périhélie.	144° 15'
L'inclinaison de l'orbite.	14° 48'
Le sens du mouvement.	*direct*

Un membre fit alors la remarque qu'il y avait entre ces élémens et ceux d'une comète observée en 1805, une trop grande ressemblance pour qu'on ne dût pas supposer qu'ils appartenaient à un seul et même astre. En supposant l'identité démontrée par la comparaison de ces élémens, il restait encore à déterminer la durée de la révolution de la comète, attendu qu'il était possible que de 1805 à 1818, elle fût plusieurs fois revenue au périhélie sans avoir été aperçue ; mais, dans tous les cas, le grand axe d'une ellipse correspondant à une révolution de 13 ans, n'aurait point été assez grand pour qu'on ne dût pas espérer qu'en discutant soigneusement les observa-

tions, on trouverait que la parabole ne les représentait pas tout-à-fait C'est là le travail que M. Encke exécuta, et qui le conduisit à reconnaître d'abord une ellipticité sensible dans l'orbite et ensuite une révolution d'environ *trois ans et demi*. Il résultait des calculs du même savant, que la comète serait visible dans l'émisphère austral, en juin 1822. Cette prédiction s'est complétement réalisée : les astronomes attachés à l'observatoire, fondé par le général Brisbane, à la nouvelle Hollande, ont, en effet, aperçu la comète, le 2 juin, très-près de la position que lui assignait l'éphéméride de M. Encke. Du 2 au 23 jnin 1822, dernier jour de son apparition, elle a parcouru en ascension droite et en déclinaison 23° et 27° ; et toujours le calcul et l'observation se sont accordés d'une manière satisfaisante. La même comète a été aperçue encore en Europe, au mois d'août 1825, très-près du lieu que lui assigne l'éphéméride de M. Encke. Il est assez remarquable, que vers la même époque, trois autres comètes encore ont été aperçues presqu'en même temps, deux par M. Pons, et une autre par M. Gambart, à Marseille. Voici les élémens elliptiques de la comète à courte période, tels qu'ils ont été donnés par M. Encke.

Passage au périhélie 1822, 24 mai 0^h temps moyen au Seeberg.

Longitude périhélie. . . . . 157° 12' 7"

Longitude du nœud ascendant.	334° 23' 40"
Inclinaison de l'orbite	13° 20' 36"
Demi-grand axe.	2,2245
Excentricité.	0,8447

La comète découverte le 9 mars par M. Gambart, et le 27 février 1826 par M. Biela, augmente le nombre des comètes dont les retours peuvent être calculés. Il paraît que c'est la même comète qui fut observée en 1772 et 1805. M. Gambart lui attribue une révolution de 2461 jours dans une ellipse inclinée à l'écliptique, sous un angle de 13° 33' 15" et ayant une excentricité de 0,74701, son demi-grand axe étant 3,56705.

De toutes les comètes dont les orbites ont pu être calculées, celle qui s'est le plus approchée du Soleil est la comète de 1680, calculée par Newton. Sa distance périhélie n'était que 0,0063 ou d'environ deux cent mille lieues. Newton a calculé que la chaleur qu'a dû éprouver la comète était 2000 fois plus grande que celle du fer rouge. En supposant une révolution de 575 ans, on trouve que le diamètre apparent du Soleil serait vu, au périhélie, sous un angle de 73 degrés; et à l'aphélie, sous un angle de 14 secondes seulement. Newton croyait qu'à chaque retour d'une comète, la distance périhélie devenait moindre, et qu'enfin l'astre finissait par se précipiter sur le Soleil, pour réparer les pertes faites par l'émission

de la lumière. Cette diminution n'est guère sensible sur la comète de Halley, la plus anciennement connue : il est vrai que pour prononcer sur une pareille hypothèse, il faudrait une plus longue suite d'observations exactes.

La comète qui jusqu'à présent a présenté la distance périhélie la plus grande, est celle de 1729; cette distance était 4,0698; conséquemment, l'astre, dans son plus grand rapprochement du Soleil, en était encore éloigné de près de 140 millions de lieues. Sur 116 comètes dont les orbites se trouvent calculées dans l'astronomie de Delambre, 23 seulement ont leur distance périhélie plus grande que le rayon de l'écliptique. La comète de 1770, est celle qui s'est le plus approchée de la Terre, dont elle n'a été éloignée que de 800,000 lieues : ce qui forme environ dix fois la distance de la Lune. Maupertuis pensait que notre Lune pouvait bien avoir été anciennement une comète, qui, pour s'être trop approchée de la Terre, en serait devenue un satellite. Cette hypothèse est maintenant reconnue impossible.

Quoique l'on ait cherché, avec raison, à faire disparaître la crainte que fait naître chez le vulgaire l'apparition d'une comète, considérée comme avant-coureur d'événemens désastreux, cependant il n'en demeure pas moins certain que si un astre semblable venait à choquer la Terre dans l'espace

il en naîtrait un désordre épouvantable à la surface de notre globe : le dérangement de l'axe et le bouleversement des saisons; le déplacement des eaux de la mer qui retirées de leur immense réservoir, iraient produire un nouveau déluge; la destruction des monumens et de l'industrie des hommes ; l'anéantissement presque général des êtres animés seraient des suites inévitables d'une semblable rencontre. Heureusement un pareil événement est infiniment peu probable, et il n'existe aucune comète connue qui puisse rencontrer la Terre. Cependant, en 1773, sur la simple annonce que Lalande s'était occupé de rechercher quelles étaient les comètes qui pouvaient le plus se rapprocher de notre globe , la consternation s'était répandue dans Paris et dans une grande partie de la France. Il pourrait se faire encore que, sans choquer la Terre, une comète vînt à passer dans son voisinage, et exerçât quelqu'influence pour augmenter les marées et produire des inondations; car, comme nous le verrons bientôt, tous les corps s'attirent mutuellement. On a répondu à cela que la comète passant si près de la Terre aurait un mouvement trop rapide pour vaincre l'inertie des eaux de la mer, et que conséquemment ses effets seraient à-peu-près nuls : d'ailleurs, aucune comète connue ne peut passer assez près de nous pour exercer une influence même sensible. La comète de

1770, qui passa près de Jupiter et au milieu de ses satellites, n'exerça aucun effet appréciable : il paraît que, de son côté, elle se trouva puissamment détournée de son orbite ; car, d'après le calcul de Lexel, elle aurait dû reparaître cinq ans et demi après, et cependant on ne l'a plus revue depuis. M. Burckhardt, sur les formules de M. Laplace, a calculé qu'elle devait être l'orbite actuelle, d'après l'action que la comète a dû éprouver dans le voisinage de Jupiter ; et il a trouvé que le grand axe a sensiblement augmenté, et que l'astre sera toujours trop loin de la Terre pour être jamais visible.

Les comètes se déplacent quelquefois dans le Ciel avec une rapidité extrême : on a vu celle de 1472 décrire en un jour un arc de 120° en rétrogradant depuis l'extrémité du signe de la Vierge jusqu'au commencement du signe des Gémeaux. Les circonstances les plus favorables, pour l'observation de déplacemens aussi rapides, seraient celles où la comète, ayant son orbite confondue avec l'écliptique, passerait au périhélie avec un mouvement rétrograde. Lacaille a calculé que l'astre étant à la distance de la Lune, à-peu-près, semblerait parcourir alors en une heure un arc d'environ 142° ; et ce mouvement prodigieux serait encore augmenté de 15° par le mouvement diurne ; en sorte qu'un observateur entre les tropiques verrait la comète, en moins de trois

quarts d'heure, s'élever de l'horizon au zénith, et redescendre vers l'horizon pour se coucher quatre heures après.

De même que les autres corps planétaires, les comètes, en circulant autour du Soleil, obéissent aux lois de Kepler; de sorte qu'elles acquièrent leur plus grande vîtesse en passant au périhélie, et leur mouvement se ralentit en même temps qu'elles s'éloignent. C'est à Newton que l'on doit la connaissance de ces mouvemens, car Kepler lui-même avait des idées fort inexactes sur les comètes, qu'il regardait comme des météores engendrés dans l'éther. Nous avons déjà dit que l'on peut, à cause du peu de différence qui existe entre une parabole et une ellipse fort alongée, supposer, pour plus de simplicité, que les comètes ont un mouvement parabolique. L'avantage consiste en ce que toutes les paraboles sont des courbes semblables. Supposons, par exemple, la parabole *pab*; *pm* est son grand axe, *p* est le périhélie, et le Soleil se trouve en S (fig. 16) au foyer. Si l'on construit une autre courbe PAB, telle que les rayons vecteurs SP, SA, SB soient proportionnels aux rayons S*p*, S*a*, S*b*, cette autre courbe sera aussi une parabole. Cela posé, les astronomes ont calculé, une fois pour toutes, le mouvement parabolique d'une comète dont la distance périhélie SP est supposée égale à la distance moyenne de la Terre au Soleil, et ils ont réduit les résultats

du calcul en forme de table ; de telle manière que l'anomalie vraie PSB est donnée pour chaque jour. On a donc une table qui sert pour toutes les comètes, tandis que les trajectoires elliptiques auraient exigé chacune une table en particulier. Une pareille comète emploierait environ 109 jours à passer de P en A, l'angle PSA étant droit ; c'est pourquoi on la nomme *comète de* 109 *jours.* On connaît, par une pareille table, quelle doit être l'anomalie au bout d'un certain nombre de jours, et réciproquement combien il s'est écoulé de jours depuis le passage au périhélie, quand on a l'anomalie vraie. Par exemple, au bout de 200 jours, l'anomalie vraie PSB serait 110° 24' 47'' ; elle serait d'environ 143° 19' pour mille jours, et n'aurait augmenté que d'un peu plus de huit degrés après les mille jours suivans ; mais déjà l'astre aurait disparu depuis longtemps, à cause de la faiblesse de sa lumière et de son grand éloignement. Quand on veut calculer le mouvement parabolique d'une comète plus ou moins éloignée que la Terre, il faut avoir égard au principe suivant, qui rentre dans les lois de Kepler. Les carrés des temps qui répondent à une même anomalie vraie, dans différentes paraboles, sont comme les cubes des distances périhélies. Par exemple, si l'on voulait savoir combien il faut de temps à une comète dont la distance périhélie $Sp = 0,5$ pour arriver en a, on

écrirait la proportion $109^2 : x^2 :: 1^3 : 0,53$, d'où l'on déduirait pour la valeur cherchée $x = 38,8$.

Quand on veut se contenter d'une estimation grossière, on peut assez facilement, sans calcul, se faire une idée de la position de l'orbite d'une comète. On trace sur un carton assez étendu une ellipse qui représente la trajectoire de la Terre ; puis aux différens points de cette ellipse où l'on a fait des observations, on tend des fils qui représentent les rayons visuels menés vers la comète. On a alors des paraboles en carton, de différentes dimensions ; et l'on essaie, en plaçant successivement le foyer de chacune au foyer de l'ellipse, d'en trouver une qui touche à-la-fois les différens fils. On obtient ainsi, par tâtonnement, la parabole qui indique la marche de la comète, et l'on détermine approximativement la position du périhélie, sa distance, l'inclinaison de l'orbite sur l'écliptique, la position des nœuds et l'instant du passage au périhélie.

Les opinions qui ont été émises sur la nature des comètes sont très-variées : nous ne nous arrêterons point ici à les examiner, parce qu'il existe encore trop peu de données pour énoncer quelque chose de positif à cet égard. Nous nous contenterons de rapporter ce que pense M. de Laplace sur les températures diverses que doivent éprouver les comètes dans leurs différens degrés d'éloignement du Soleil. « Les nébulosités qui les

environnent étant le résultat de la vaporisation des fluides à leur surface, le refroidissement qui en est la suite, doit tempérer l'excessive chaleur due à leur proximité du Soleil; et la condensation des mêmes fluides vaporisés, quand elles s'en éloignent, répare en partie la diminution de chaleur que cet éloignement doit produire; en sorte que le double effet de la vaporisation des fluides et de la condensation des vapeurs rapproche considérablement les limites de la plus grande chaleur et du plus grand froid que les comètes éprouvent à chacune de leurs révolutions.»

Des Aérolithes et des Étoiles filantes.

On a douté pendant long-temps de l'existence des *aérolithes*, mais depuis qu'on a eu l'occasion d'observer ces météores à différentes reprises, on ne s'est plus occupé que d'expliquer leur origine qui est encore très-problématique. Le caractère le plus remarquable et le plus distinctif des aérolithes, c'est que ces substances se ressemblent parfaitement; ce sont des masses pyriteuses où l'on voit briller quelques points métalliques : la surface extérieure est noire, comme si elle avait subi l'action du feu; l'intérieur est d'un blanc-jaunâtre; elles ont toutes la même pesanteur spécifique, au moins à très-peu-près, et on peut l'évaluer à 3,591, celle de l'eau étant prise pour

unité. Leur analyse chimique donne presque constamment les mêmes substances et dans les mêmes proportions ; elles sont composées de silice, de magnésie, de soufre, de fer à l'état métallique, de nickel et de quelques parcelles de chrôme. Il est à remarquer que le fer ne se rencontre presque jamais à l'état métallique dans les corps terrestres, les volcans n'en contenant pas qui ne soit oxidé ; le nickel est également très-rare, et ne paraît jamais à la surface de la Terre ; le chrôme est plus rare encore. Ces masses solides sont amenées sur la Terre par des météores que l'on nomme *bolides* ou *globes de feu*. Ils éclatent à une très-grande hauteur, et jusqu'à dix et quinze lieues au-dessus de la surface de la Terre ; c'est ce dont on s'est assuré en évaluant leur parallaxe d'une manière approchée, d'après les observations faites simultanément, à l'instant de leur explosion, par des observateurs placés en différens lieux. En général, ces météores éclatent avec un grand bruit : souvent la commotion est telle que les fenêtres, les portes, les maisons mêmes, en sont ébranlées comme dans un tremblement de terre ; enfin la vitesse dont ils sont animés, va jusqu'à égaler celle des corps planétaires.

Plusieurs savans ont pensé que les *étoiles filantes* devaient avoir la même origine que les aérolithes ; les opinions que l'on a émises sur leur nature sont très-nombreuses, quelques physiciens ont

cru que ces météores avaient aussi la même origine que les aurores boréales; mais la direction qui est très-variable, la différence de forme, une lumière plus éclatante, et d'autres circonstances prouvent assez que ces divers phénomènes ne peuvent avoir une origine commune. Vassali regarde les étoiles filantes comme des courans de matière électrique, qui se décharge d'une région de l'air où elle est en plus, dans une autre où elle est en moins. Toaldo les regarde comme produites par l'inflammation d'une longue traînée d'air inflammable. Silberschlay, dans la théorie des aérolithes, a prétendu expliquer leur origine, en supposant des vapeurs gluantes et huileuses qui s'élèvent et s'agglomèrent dans les hautes régions de l'atmosphère. Maskeline pense comme Hévelius, que les aérolithes sont des petits corps planétaires, ainsi que les comètes, qui circulent dans l'espace, et qui se trouvant engagés dans l'atmosphère terrestre, s'y enflamment par le frottement qu'ils éprouvent, y perdent peu à peu leur vitesse et tombent enfin vers la Terre par l'effet de leur pesanteur. Dans cette idée, les étoiles tombantes ou filantes, ne seraient que des corps de ce genre qui entreraient dans notre atmosphère à de grandes hauteurs, mais avec une vitesse suffisante pour la traverser, en sorte qu'ils ne feraient que s'enflammer en passant. Cette idée s'accorderait assez bien avec la découverte

récente des quatres petites planètes : Vesta, Cérès, Junon et Pallas ; mais elle n'explique pas l'identité de composition des aérolithes.

On voit, par ce qui précède, que la question se réduit à savoir si les aérolithes sont des produits terrestres, ou s'ils sont formés dans notre atmosphère, ou bien enfin si ce sont des produits entièrement étrangers à notre globe. On pourrait observer, contre la première hypothèse, qu'il n'existe ici-bas aucune force capable d'imprimer à ces corps un mouvement de translation aussi rapide, et qui devient quelquefois parallèle à l'horizon : nos volcans mêmes n'auraient point une force suffisante pour vaincre la résistance de l'air, et pour projeter à 10 ou 12 lieues de hauteur des masses telles que celles que l'on a vu tomber. D'une autre part, des substances aussi denses, aussi volumineuses, ne peuvent pas se former à une aussi grande hauteur, de principes si divers répandus dans notre atmosphère ; il semblerait donc que l'hypothèse la plus simple est celle qui regarde les aérolithes comme des produits étrangers à notre globe. L'illustre auteur de la Mécanique céleste, a pensé que ces masses pouvaient être lancées sur la Terre par des volcans lunaires. En soumettant cette idée au calcul, on a trouvé, qu'il suffisait pour cela d'une force de projection quadruple de celle d'un boulet de calibre lancé avec douze livres de poudre. Cette

force n'ayant aucune résistance d'atmosphère à vaincre, puisque la Lune n'en a pas, suffirait pour détacher un corps de la Lune et l'amener au point où la pesanteur terrestre l'attirerait ensuite sur notre globe. Or, il n'est pas improbable que les volcans lunaires aient une pareille force de projection, puisque les volcans terrestres en ont une beaucoup plus grande, mais qui ne peut produire les mêmes effets à cause de l'énorme résistance que présente notre atmosphère.

M. Arago a inséré, dans l'Annuaire du bureau des Longitudes, pour 1826, un catalogue de chutes de pierres, rédigé par le physicien Chladni, qui s'est beaucoup occupé de ces météores; il y est aussi question de chutes de poussières. « Tout ce qu'on a observé dans ces chutes, dit ce savant, nous fait présumer qu'elles ne diffèrent pas essentiellement des chutes de pierres; quelquefois elles ont été accompagnées de chutes de pierres, comme aussi d'un météore de feu. Les poussières paraissent contenir à-peu-près les mêmes substances que les pierres météoriques. Il semble qu'il n'y a d'autre différence que dans la rapidité avec laquelle ces amas de matière chaotique, dispersée dans l'univers, arrivent dans notre atmosphère; mais dès-lors ces substances doivent subir de plus ou moins grands changemens, suivant l'intensité de la chaleur que la compression développe dans l'air. »

LIVRE TROISIÈME.

DES FORCES QUI RÉGISSENT NOTRE SYSTÈME PLANÉTAIRE.

Nous avons exposé, dans ce qui précède, les principaux mouvemens que l'observation a fait reconnaître aux différens corps célestes, et nous avons admis, pour expliquer ces mouvemens, l'hypothèse qui nous a paru la plus vraisemblable. Nous avons vu constamment les conséquences de cette hypothèse s'accorder avec les résultats de l'observation, et nous n'avons pas cherché à remonter à la connaissance des forces dont pouvait dépendre un accord si merveilleux. Nous allons maintenant nous occuper de cet examen; mais d'abord nous commencerons par faire connaître quelques systèmes, non parce qu'ils nous paraissent également admissibles, mais parce qu'ayant tour-à-tour été admis pendant long-temps, ils méritent par cela même quelque attention. Les systèmes aujourd'hui ne sont considérés que comme des moyens de classer les faits; et l'on ne juge de leur importance que par l'exactitude avec laquelle ils présentent les résultats de

l'observation, lorsqu'on les soumet au calcul. Or, nous verrons bientôt que le système que nous avons admis comme le plus probable, résiste tellement à cette dernière épreuve, qu'il a souvent même précédé l'observation, en faisant connaître de petits mouvemens que l'on n'avait pas encore remarqués.

CHAPITRE PREMIER.

Des différentes opinions des philosophes.

Il nous serait impossible d'énumérer toutes les opinions qui ont été émises sur la structure de notre système planétaire; car, comme l'a observé Cicéron, il n'existe pas d'idée si extravagante qui n'ait été soutenue par les philosophes; nous nous bornerons donc à exposer les opinions qui méritent le plus d'être connues.

Ptolémée de Péluse, qui florissait à Alexandrie vers le milieu du deuxième siècle de notre ère, présenta, dans son *Almageste,* un système qui a été admis pendant plusieurs siècles, et qui a pris son nom quoiqu'il fût emprunté aux philosophes antérieurs. Ptolémée concevait que le monde comprenait deux régions, l'*élémentaire* et l'*éthérée :* la première, placée au centre, contenait les quatre élémens, la terre, l'eau, l'air et le feu; la seconde présentait onze cieux qui

tournaient autour de la Terre comme autour d'un centre : ces onze cieux étaient ceux de la Lune, de Mercure, de Vénus, du Soleil, de Mars, de Jupiter, de Saturne, des étoiles fixes, du second cristallin, du premier cristallin, et enfin du premier mobile qui donnait le mouvement à tous les cieux inférieurs, et leur faisait faire une révolution en vingt-quatre heures. Indépendamment de ce premier mouvement commun, les astres avaient des mouvemens propres particuliers, plus ou moins grands, selon leur éloignement ; les étoiles fixes faisaient une révolution en 25,816 ans. Au-delà des onze cieux, était l'Empyrée ou le séjour des bienheureux.

Copernic, né à Thorn, en 1472, fit revivre les idées de Pythagore. Il publia un système qui renversa celui de Ptolémée, et qui, basé sur les principes les plus simples, se confirma de jour en jour par l'observation. Copernic place le Soleil au centre de notre système planétaire, et fait circuler autour de cet astre, la Terre ainsi que les autres planètes. C'est cette hypothèse que nous avons suivie, dans le livre précédent, comme étant la plus vraisemblable. Les idées de Copernic, à cause de leur simplicité, furent accueillies avec le plus grand empressement ; mais elles attirèrent des persécutions sur ceux qui s'empressèrent de les répandre. L'illustre Galilée fut une des premières victimes, ainsi que le

malheureux Philippe Lansberg, de Gand, qui, frappé d'un décret du saint-office, fut forcé de fuir sa patrie, où son nom a été livré depuis au ridicule. La mémoire de Galilée a été justement défendue, tandis que celle de Lansberg est encore, chaque jour, indignement outragée.

Soit par conviction, soit par prudence, ou bien encore par le désir d'attacher son nom à un système, le célèbre astronome Tycho-Brahé, qui naquit en 1546, modifia le système de Copernic, et rendit à la Terre son ancienne immobilité. Il supposait qu'autour de notre globe circulaient la Lune et le Soleil qui emportaient dans l'espace tous les autres corps planétaires comme des satellites.

Descartes, né en 1596, essaya d'expliquer les mouvemens des corps célestes, en les regardant comme placés au centre de tourbillons de matière subtile. Les tourbillons des planètes, selon lui, entraînent les satellites, et le tourbillon du Soleil entraîne à son tour les planètes avec leurs tourbillons et leurs satellites. Si le système de Descartes a été rejeté à cause des difficultés nombreuses qu'il présentait, du moins il faut savoir gré à son illustre auteur d'avoir entrepris le premier de ramener aux lois de la mécanique les mouvemens des corps célestes.

C'est peut être ici le lieu de parler des conjec-

tures du célèbre Laplace sur l'origine de notre système planétaire : selon lui, l'atmosphère du Soleil s'est primitivement étendue au-delà des orbes de toutes les planètes, et s'est resserrée successivement jusqu'à ses limites actuelles. Les planètes auraient été formées à ses limites successives par la condensation des zônes de vapeurs qu'elle a dû, en se refroidissant, abandonner dans le plan de son équateur. Les planètes, à leur tour, en se condensant, ont dû voir naître, comme le Soleil, des corps qui se formaient des parties de leurs atmosphères. Ainsi les phénomènes singuliers du peu d'excentricité des orbes des planètes et des satellites, du peu d'inclinaison de ces orbes à l'équateur solaire, et de l'identité du sens des mouvemens de rotation et de révolution de tous ces corps, avec celui de la rotation du Soleil, découlent de cette hypothèse ingénieuse et lui donnent une grande vraisemblance.

Du principe de la pesanteur universelle et des forces qui régissent notre univers.

Quoique Copernic eût fort bien assigné à chaque astre sa place dans notre système planétaire, cependant il avait laissé subsister encore plusieurs erreurs : ce grand homme croyait, par exemple, que les mouvemens des corps célestes devaient être

circulaires. Kepler, né à Viel, en 1571, eut la gloire de découvrir la véritable nature de ces mouvemens, et reconnut qu'ils étaient elliptiques ; il découvrit également que les aires décrites étaient proportionnelles aux temps, et que les cubes des grands axes des orbites sont proportionnels aux carrés des temps des révolutions des planètes. Ces trois belles lois, qui prirent depuis le nom de leur auteur, forment aujourd'hui la base de toute l'astronomie. Kepler s'était élevé trop haut pour ne pas pressentir quelles devaient être les forces qui produisaient les mouvemens qu'il avait si bien déterminés ; mais, comme l'observe l'illustre auteur de la Mécanique céleste, le moment n'était pas venu de faire le dernier pas qui supposait l'invention de la dynamique et de l'analyse infinitésimale.

Aidé des immenses travaux de ses prédécesseurs, et surtout des recherches d'Huyghens sur les forces *centrifuges*, Newton parvint enfin à déchirer le voile qui cachait la vraie cause des mouvemens célestes. Ce grand homme montra qu'ils dépendaient de ce principe fécond ; que *tous les corps s'attirent en raison des masses, et réciproquement au carré des distances.* Ainsi la Terre, abandonnée à elle-même, devrait se précipiter vers le Soleil avec une vîtesse toujours croissante ; comme la pierre, abandonnée à elle-même, tombe vers la Terre ; et le Soleil, à son tour, serait

attiré par notre globe, mais d'une manière presque insensible, à cause de l'inégalité des masses. Comme cependant la Terre ne se dirige point vers le Soleil, mais décrit une ellipse autour de cet astre, d'après la première loi de Kepler et conformément à l'observation, il faut en conclure que la Terre obéit encore à d'autres forces qu'à celles de la gravité, car la mécanique enseigne qu'un corps ne peut décrire une courbe qu'en vertu de plusieurs forces. Or, en supposant que la Terre ait reçu primitivement un mouvement de projection dans l'espace, les mathématiques nous montrent que ce mouvement combiné avec la force d'attraction qui agit continuellement vers le Soleil, doit faire décrire à la Terre une section conique, au foyer de laquelle se trouve le Soleil. De cette manière, la loi de Kepler, vérifiée d'ailleurs par l'observation, devient une conséquence nécessaire du principe de l'*attraction* ou de la *gravitation*. La force que développe l'attraction se nomme communément *accélératrice*, parce qu'en effet le corps sur lequel elle agit, se meut avec un mouvement qui s'accélère en approchant du corps qui attire. Quand on retourne le problème, et qu'on cherche quelles sont les forces dont la Terre doit être animée pour pouvoir décrire une ellipse, au foyer de laquelle soit placé le Soleil, on trouve une force constante primitive et une force d'at-

traction vers le Soleil, agissant conformément au principe de Newton. On se trouve donc dans cette alternative, ou de devoir admettre en même temps le principe de Newton et la loi de Kepler donnée par l'observation, ou de devoir les rejeter en même temps.

La mécanique ne se borne pas à donner les résultats précédens, elle fait voir encore que le mouvement de projection primitif n'a pas dû passer par le centre de la Terre; car alors la Terre n'aurait point tourné sur son axe, et nous n'aurions que la révolution annuelle, sans connaître le mouvement diurne. Ainsi de quelque manière que la Terre ait reçu l'impulsiou primitive qui la fait circuler dans l'espace, on peut affirmer que cette impulsion a dû passer à une certaine distance du centre : le calcul permet d'estimer quelle est cette distance.

Ce que nous venons de dire du mouvement de la Terre, suffira pour faire concevoir comment les autres planètes circulent autour du Soleil : on peut en dire autant des satellites qui sont, par rapport à leurs planètes centrales, ce que ces planètes sont par rapport au Soleil. On conçoit cependant qu'on ne peut pas regarder les corps célestes comme soumis isolément à l'influence du Soleil. La Terre, par exemple, indépendemment de cette influence, subit encore l'attraction de Vénus, de Mars, de Jupiter et des autres pla-

nètes sur lesquelles elle réagit à son tour. Ces actions et réactions ne permettent pas aux corps planétaires de suivre exactement les trajectoires qu'ils décriraient, si le Soleil seul agissait exclusivement sur chacun d'eux. De là doivent naître des altérations ou *perturbations* que le calcul a permis d'estimer, quoique leur valeur soit généralement très-faible ; et c'est dans cette estimation qu'on trouve une nouvelle preuve de l'exactitude du principe de Newton.

La seconde loi de Kepler se déduit avec la plus grande facilité du principe de Newton; cette loi subsisterait encore quelle que fût la nature de la force d'attraction, pourvu que sa direction passât constamment par un même point. Voici comment on peut s'en assurer. Soit S le centre du Soleil, et T,T la partie de la trajectoire que la Terre décrit en un instant donné très-court (fig. 17). Si, quand la Terre arrive en T, le mouvement d'attraction cessait tout-à-coup, la Terre suivrait la direction de la tangente TT' avec un mouvement uniforme, et arriverait en T' au second instant; de manière que l'on aurait T,T=TT', et la surface du triangle STT,=STT'. Si pendant ce second instant, au contraire, l'attraction avait opéré seule, elle aurait amené la Terre en ligne droite jusqu'en a, par exemple. Mais, si pendant le même temps, les deux forces ont agi simultanément, la mécanique nous fait

connaître que la Terre n'a pu suivre à-la-fois les deux directions T*a* et TT', mais qu'elle a dû se diriger selon la diagonale T*t* du parallélogramme *a* T T' *t*. L'aire décrite alors par le rayon vecteur de la Terre est celle du triangle S T *t*, qui est exactement égale à l'aire du triangle S T T' qu'aurait décrite le rayon de la Terre, si l'attraction n'avait pas eu lieu : ces deux triangles ont, en effet, même base TS, et leurs sommets sont sur la parallèle T' *t*. Les aires T'ST et TS*t*, dans les deux instans consécutifs et égaux, sont donc égales à leur tour. Il s'ensuit que les aires décrites dans deux intervalles de temps égaux, sont aussi égales, car on peut partager ces deux intervalles dans le même nombre d'instans égaux ; conséquemment *les aires décrites dans des temps quelconques seront comme les temps employés à les décrire*. La même loi subsisterait encore, si la Terre au lieu d'avoir été attirée de T en *a* pendant le second instant, avait été repoussée de T en *a'*, c'est-à-dire, si la force attractive s'était changée en force répulsive, car on verrait, d'après les raisonnemens précédens que le triangle T*t'*S serait encore équivalent au triangle TT'S ou bien à TT,S. Conséquemment cette seconde loi de Kepler ne dépend ni de la grandeur ni du sens de l'action de la force accélératrice, mais bien de sa direction qui doit passer constamment par un même point fixe.

Si l'intensité de la force d'attraction n'a point d'influence pour augmenter ou diminuer les aires décrites, elle en exerce une sur la *vîtesse angulaire* de la Terre, c'est-à-dire, sur la grandeur de l'angle TS*T* sous lequel on voit du Soleil, le déplacement de la Terre dans un temps donné. A l'inspection seule de la figure, on s'aperçoit que *la vîtesse angulaire augmente en même temps que la force d'attraction*. Or, comme l'attraction doit avoir le plus d'énergie, quand la Terre est au périhélie ou à sa plus courte distance, il en résulte aussi que la Terre a alors le mouvement angulaire le plus rapide. Il en est de même des autres planètes.

On peut estimer la valeur de la vîtesse angulaire de la manière suivante. Le triangle T S *t*, pour un instant très-court, peut être considéré comme un secteur de cercle. Si nous nommons alors R le rayon vecteur TS ou *t* S, et V l'angle T S *t* qui est la mesure de la vîtesse angulaire, on aura, pour la surface du triangle T S*t*, d'après les principes de la géométrie élémentaire *la surface* $TSt = \frac{1}{2} R^2 V$, et pour la surface décrite dans un autre instant égal au premier, $\frac{1}{2} R'^2 V'$. Mais comme ces surfaces décrites en temps égaux, doivent être égales, leurs valeurs le seront pareillement, et l'on aura $R^2 V = R'^2 V'$. De cette égalité on déduit la proportion suivante $V : V' :: R'^2 : R^2$. Ce qui montre que *les vîtesses angu-*

laires sont réciproques aux carrés des rayons vecteurs.

Du principe de l'attraction on déduit encore comme conséquence la troisième loi de Kepler, que les carrés des temps des révolutions sont comme les cubes des grands axes. « Ainsi, comme l'observe le marquis de Laplace, ce principe n'est pas seulement une hypothèse qui satisfait à des phénomènes susceptibles d'être autrement expliqués, comme on satisfait de différentes manières aux équations d'un problême indéterminé. Ici, le problème est déterminé par les lois observées dans les mouvemens célestes, dont ce principe est un résultat nécessaire. La pesanteur des planètes vers le Soleil est démontrée par la loi des aires proportionnelles aux temps : sa diminution en raison inverse du carré des distances est prouvée par l'ellipticité des orbes planétaires ; et la loi des carrés des temps des révolutions proportionnelles aux cubes des grands axes, montre avec évidence que la pesanteur solaire agirait également sur toutes les planètes supposées à la même distance du Soleil, et dont les poids seraient par conséquent en raison des masses. L'égalité de l'action à la réaction fait voir que le Soleil pèse à son tour vers les planètes, proportionnellement à leurs masses divisées par les carrés de leurs distances à cet astre. Les mouvemens des satellites nous prouvent qu'ils pèsent à-la-fois vers le Soleil et leurs planètes, qui

pèsent réciproquement sur eux; en sorte qu'il existe entre tous les corps du système solaire, une attraction mutuelle, proportionnelle aux masses et réciproques au carré des distances. »

Newton rechercha quelles étaient les conditions nécessaires pour que la trajectoire d'un astre fût un cercle, une ellipse, une parabole ou une hyperbole; et il trouva que ces conditions ne dépendent que de la vîtesse et de la position primitive de l'astre. De sorte qu'il pourrait se faire qu'il se trouve des comètes qui décrivent des hyperboles, et qui par-là ne seraient jamais qu'une seule fois visibles. Il faudrait pour cela regarder comme soumis à de certaines conditions, l'état initial de ces astres, qui semblent, pour la plupart, errer de systèmes en systèmes solaires, et être, par rapport à notre système, ce que les aérolithes sont relativement à la Terre, à laquelle ils paraissent étrangers. Or, M. de Laplace, en cherchant par le calcul des probabilités, le rapport des chances qui donnent une hyperbole sensible, aux chances qui donnent un orbe que l'on puisse confondre avec une parabole, a trouvé qu'il y avait six mille au moins à parier contre un, qu'une comète qui doit devenir visible, décrira ou une ellipse alongée ou une hyperbole qui, par la grandeur de son axe, se confondra sensiblement avec une parabole, dans la partie que l'on observe. On ne doit donc

pas s'étonner si l'on n'a pas encore observé des mouvemens hyperboliques.

Un résultat curieux, auquel Newton fut conduit par l'analyse, est celui qui concerne le mode d'attraction des corps sphériques. Ce grand géomètre trouva que la force attractive d'une sphère ou d'une couche sphérique, sur un point placé au-dehors, est la même que si sa masse était réunie à son centre ; et qu'un point placé endedans d'une couche sphérique, et généralement, d'une couche déterminée par deux surfaces elliptiques semblables et semblablement placées, est également attiré de toutes parts. Ainsi, si notre Terre était creuse, un corps placé dans son intérieur y demeurait suspendu en équilibre, en quelqu'endroit qu'on le plaçât, si l'on n'a égard qu'aux seules forces d'attraction des particules de de la Terre (1).

(1) L'analyse a conduit encore à quelques autres résultats curieux qu'il importe également de faire connaître. Supposons plusieurs corps agissant les uns sur les autres d'une manière quelconque, et soumis à une force dirigée vers un point fixe ; si, de ce point, on mène à chacun d'eux, des rayons vecteurs que l'on projette sur un plan invariable passant par ce point, la somme des produits de la masse de chaque corps, par l'aire que trace la projection de son rayon vecteur, est proportionnelle au temps. C'est en cela que consiste le principe de la *conservation des aires*. Si tous les corps n'étaient soumis qu'à leur action mutuelle et qu'il n'y eût pas de centre d'attraction, on pourrait prendre

CHAPITRE II.

Des Perturbations dans le mouvement elliptique des planètes.

Nous avons vu précédemment que les corps planétaires devraient décrire rigoureusement des orbites elliptiques, s'ils n'étaient sollicités que

alors un point quelconque pour origine des rayons vecteurs.

Si plusieurs corps agissent les uns sur les autres sans être sollicités par des forces extérieures, le centre commun de gravité se meut uniformément en ligne droite. Le mouvement est alors absolument le même que si tous les corps étaient réunis en ce centre et obéissaient aux mêmes forces que précédemment; c'est ce qui constitue le principe de la conservation du *mouvement uniforme du centre de gravité.*

La *force vive* d'un corps s'estime en multipliant la masse par le carré de la vîtesse de ce corps; ainsi tant que ces deux derniers élémens ne varient pas, la force vive du corps ne doit pas varier non plus. Si les corps d'un système n'éprouvent d'autres actions que leurs tractions et pressions mutuelles, soit immédiatement, soit par l'entremise de verges et de fils inextensibles et sans ressort, la force vive du système est constante, dans le cas même ou plusieurs de ces corps sont astreints à se mouvoir sur des lignes ou sur des surfaces courbes. Ce principe est celui de la *conservation des forces vives.* Il faut bien remarquer que ce dernier principe ne peut plus exister, quand il survient des changemens brusques dans les mouvemens du système, tandis qu'il n'en est point de même pour les deux autres énoncés précédemment. Il existe encore un autre principe qui est pour ainsi dire une combinaison des précédens; on

par l'action du Soleil; mais leurs mouvemens sont continuellement troublés, d'une manière assez faible à la vérité, par les actions des corps voisins qui les attirent aussi, en raison de leurs masses et en raison inverse du carré de leurs distances. Les effets de ces forces *perturbatrices* doivent être estimés, si l'on veut établir des tables qui fassent connaître avec exactitude les mouvemens des corps planétaires. Or, cette évaluation, dans l'état actuel de la science, dépasse les forces de l'analyse, et l'on doit se contenter d'approximations à la vérité bien suffisantes pour la pratique.

Les perturbations sont de deux espèces : on les nomme *inégalités séculaires* ou *périodiques ;* les premières affectent le mouvement elliptique et croissent avec une extrême lenteur; les autres

le connaît en mécanique sous le nom de principe de *moindre action*; mais comme son énoncé est tout-à-fait mathémathique, nous ne nous y arrêterons pas ici.

L'ensemble de ces grands principes et les conséquences qui en découlent, forment une des parties les plus importantes de la mécanique céleste. Il est à remarquer que quand il s'agit des corps planétaires, circulant dans l'immensité de l'espace, où les frottemens et les résistances des milieux sont sans effets sensibles, les résultats de l'observation s'accordent parfaitement avec ceux du calcul, tandis que sur notre globe, quand il s'agit du jeu des moindres machines, il est presque impossible de faire accorder le calcul et l'expérience.

dépendent des positions respectives des corps célestes, et redeviennent les mêmes, toutes les fois que ces corps rentrent dans les mêmes circonstances où ils étaient d'abord.

Il est remarquable que sur les sept quantités qui composent les principaux élémens elliptiques des planètes, deux, les moyens mouvemens et les grands axes des orbites, demeurent invariables; les autres subissent des variations qui ne sont sensibles que dans l'étendue d'un siècle, et l'on peut les considérer comme à-peu-près proportionnelles aux temps. Ainsi les excentricités augmentent et diminuent successivement, c'est-à-dire, que les orbites s'approchent et s'éloignent insensiblement de la forme circulaire; les orbites oscillent autour d'une position moyenne, et leur inclinaison sur le plan de l'écliptique, augmente et diminue alternativement; enfin la direction du périhélie et celle des nœuds ont un mouvement continuel dans le Ciel. Ces perturbations séculaires sont périodiques, sans dépendre cependant des configurations des planètes, comme les perturbations de seconde espèce. Ainsi le système planétaire ne fait qu'osciller autour d'un état moyen, dont il ne s'écarte jamais que d'une petite quantité. On pourrait croire que les orbites planétaires n'ont pas toujours été aussi peu excentriques qu'elles le sont actuellement, et que les planètes ont bien pu être, dans l'origine, des co-

mètes dont les orbites se sont resserrées par l'effet de l'attraction des autres corps célestes ; on pourrait croire aussi que l'obliquité de l'écliptique, ainsi que les inclinaisons des orbites des autres planètes sont susceptibles de diminuer indéfiniment, ce qui amènerait enfin sur notre globe un printemps continuel. Mais M. de Laplace a démontré par l'analyse, que d'après l'état actuel de notre système planétaire, tous les changemens ne sont que périodiques et renfermés dans d'étroites limites ; par exemple, la variation que subit l'inclinaison de l'écliptique ne peut dépasser trois degrés.

Les astronomes, pour se représenter les mouvemens d'un corps céleste, supposent un astre fictif D, qui se meut dans une ellipse D B C A, dont le grand axe A B est constant, et qui, par des nuances insensibles, prend une autre forme B C' A, selon la loi des inégalités séculaires. Les inégalités périodiques sont figurées par le mouvement de la planète D, autour de cet astre fictif, dans un très-petit orbe D D', dont la nature dépend de ces mêmes inégalités périodiques.

On avait remarqué, en comparant entre elles un grand nombre d'observations, que le mouvement de Jupiter était croissant, tandis que celui de Saturne diminuait. On avait fait plusieurs conjectures sur ces altérations ; M. de Laplace eut encore la gloire de prouver que le mouvement

de Jupiter s'accélère quand celui de Saturne se ralentit et réciproquement : que la période de ces changemens était de 917 ans 9 mois, que les deux planètes avaient eu leurs mouvemens moyens égaux en 1790, et que depuis, Jupiter éprouve un ralentissement et Saturne une accélération; qu'enfin cinq fois le mouvement de Saturne forme à-peu-près deux fois celui de Jupiter. Comme le mouvement moyen des planètes est constant, ainsi que le grand axe des ellipses, l'inégalité doit provenir de la variation des autres élémens de l'orbite; si B C A est l'orbite moyenne de Jupiter, et si elle s'aplatit de manière à prendre la forme B C' A, il y aura accélération dans le mouvement de la planète; si pendant le même temps l'orbite de Saturne se renfle, il y aura ralentissement pour cette dernière planète. Des effets contraires auraient lieu, si l'aplatissement et le renflement des deux ellipses se faisaient en sens opposé.

Les perturbations d'Uranus, quoique découvertes depuis peu, sont déjà très-sensibles; on conçoit alors quelles doivent être celles qu'éprouvent les astéroïdes placés dans le voisinage d'un corps tel que Jupiter : aussi n'a-t-on pas pu les apprécier encore d'une manière satisfaisante. Voici un tableau des variations séculaires des différens élémens des planètes principales; il est calculé pour minuit, 1801, au temps moyen à Paris.

PLANÈTES.	VARIATIONS SÉCULAIRES			
	de l'excentricité.	de l'inclin. de l'orbite.	de la long. ☊	du périhélie.
Mercure. .	0,000003867	18",183	— 13',038	10',726
Vénus. . .	— 0,000062711	— 4",552	— 31',164	—4',460
Terre . . .	0,000041632	»	»	19',630
Mars. . . .	0,000090176	— 0",152	— 38',808	26',374
Jupiter . .	0,000159350	— 22",608	— 26',293	11',0643
Saturne . .	— 0,000312402	— 15",513	— 37',774	32',2845
Uranus. . .	— 0,000025072	3",133	— 59',966	3',977

A l'aide de cette table, et de celle qui a été donnée pour les mouvemens des planètes, on peut retrouver les élémens principaux tels qu'ils doivent être à une époque donnée. Par exemple, pour le commencement de 1850, l'excentricité de l'orbite de Jupiter devra être calculée de la manière suivante : l'excentricité était au commencement du siècle 0,0482 ; elle varie, dans l'espace de 100 ans, de 0,00016036, et conséquemment, pendant 50 ans, de 0,00008018 ; ajoutons ces deux valeurs, et nous aurons pour l'excentricité de Jupiter, en 1850, la valeur 0,04828, en négligeant les derniers chiffres décimaux. L'inclinaison de l'orbite, à la même époque et pour la même planète, s'obtiendrait d'après un calcul semblable. Le signe — marque une diminution ou un mouvement opposé à celui des signes du Zodiaque. On voit que les nœuds des planètes ont un mouvement rétrograde, tandis que les sommets des ellipses ou les périhélies ont un mouvement direct, excepté pour Vénus.

Perturbations des Satellites.

Nous ne nous occuperons ici que des satellites des trois grandes planètes : nous reviendrons plus loin sur les perturbations de la Lune qui méritent une attention toute particulière.

Les satellites éprouvent en général deux es-

pèces de perturbations, l'une dans leur mouvement, et l'autre dans la position de leurs orbites. Ces inégalités proviennent surtout de la manière dont les satellites agissent les uns sur les autres. Pour nous rendre compte de la première espèce de perturbation, considérons l'action que le second satellite de Jupiter exerce sur le premier. Dans les conjonctions, le second satellite agira avec plus de force sur le premier pour le ramener vers lui, et conséquemment pour l'éloigner de Jupiter ; dans les oppositions, au contraire, le second satellite aura le *minimum* d'action sur le premier pour le ramener vers lui ou vers Jupiter, qui se trouve alors entre les deux satellites. Ainsi, dans les oppositions et les conjonctions de ces deux petits corps planétaires, le premier satellite sera toujours sollicité à s'écarter de Jupiter. Uu peu d'attention suffira pour voir qu'il doit tendre à s'en rapprocher lorsque les deux satellites sont en quadrature. L'ellipse que décrit le premier satellite autour de Jupiter, tend donc alternativement à s'alonger et à se rétrécir selon la position du premier satellite à l'égard du second.

Mais le premier satellite agit à son tour sur le second : il tend à diminuer sa distance à Jupiter dans les conjonctions, et agit encore pour diminuer cette même distance dans les quadratures, mais avec moins d'énergie, parce qu'il en est moins voisin. Son *minimum* d'action a lieu lors

de l'opposition. Comme les vîtesses des satellites dépendent des distances à leur astre central, il doit en résulter des inégalités assez marquantes dans la marche de ces corps planétaires.

Il est évident que le second satellite est dérangé par l'action du troisième, à-peu-près comme le premier est dérangé par le second ; de sorte que ce satellite se trouve à-la-fois déplacé dans son mouvement par les deux qui l'avoisinent. Des inégalités semblables doivent nécessairement se faire sentir dans les mouvemens de tous les autres satellites qui circulent autour de Saturne et d'Uranus.

Nous avons déjà vu que les temps des révolutions des trois premiers satellites de Jupiter sont à-peu-près comme les nombres 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$; c'est-à-dire, que la vîtesse du premier plus le double de la vîtesse du troisième, égale le triple de celle du second, car $1 + \frac{2}{4} = \frac{3}{2}$. Il en résulte aussi que la longitude du premier satellite plus le double de celle du troisième, plus trois celle du second, a eu autrefois une certaine valeur qui n'a pas dû varier depuis ; cette valeur est sensiblement égale à une demi-circonférence. Ainsi, jamais ces trois satellites ne pourront être éclipsés à-la-fois ; du moins la comparaison d'un grand nombre d'observations faites à différentes époques, prouve que leurs mouvemens sont réguliers et durables. Ces rapports peuvent n'avoir pas

existé à l'origine ; mais ils doivent avoir été établis par l'action mutuelle des satellites. M. de Laplace pense qu'il peut y avoir des variations assez peu considérables pour n'avoir pas encore été aperçues, et il les désigne sous le nom de *librations*. Les satellites éprouvent encore des variations séculaires qu'on expliquera facilement quand nous aurons parlé des variations semblables qu'éprouve la Lune.

Les perturbations de seconde espèce concernent les excentricités, les *périjoves* ou les plus courtes distances à Jupiter, les nœuds des orbites et les inclinaisons de ces orbites. Ainsi les périjoves des orbes des satellites de Jupiter ont des mouvemens semblables aux périhélies des orbes des planètes. Le plan de l'orbe du premier satellite oscille sur l'équateur de Jupiter, et les trois autres satellites oscillent dans des plans qui font avec l'équateur de Jupiter des angles constans : enfin, les nœuds des second, troisième et quatrième satellites de Jupiter subissent des mouvemens rétrogrades, et les orbes sont entraînés par l'équateur de Jupiter, dont les nœuds ont un mouvement rétrograde dans le plan de l'orbite de cette planète.

On conçoit que si l'on connaissait parfaitement la pesanteur de chacun des satellites, ainsi que celle de Jupiter, on pourrait estimer, au moyen du calcul, les actions que ces corps doi-

vent exercer mutuellement les uns sur les autres, ou bien qu'en connaissant ces actions mutuelles, on pourrait remonter à l'estimation de la pesanteur des corps planétaires qui les produisent. M. de Laplace s'est occupé de ce calcul, et il est parvenu aux résultats que nous avons donnés dans le livre précédent ; il a aussi calculé, par les mêmes données, l'aplatissement de la planète. Ces résultats étaient nécessaires pour former les tables de Jupiter, et ils donnent une nouvelle preuve de la hauteur à laquelle s'est élevée l'astronomie moderne, basée sur les principes de la mécanique analytique.

La théorie des satellites de Saturne est encore très-imparfaite, à cause de la difficulté qu'on éprouve à observer ces petits corps planétaires. On remarque seulement que les six premiers satellites sont retenus à-peu-près dans le plan de l'anneau de la planète, et que le septième seul, en vertu de l'action du Soleil, s'en trouve écarté d'une manière assez sensible. Les orbes de ces satellites se meuvent, comme ceux des satellites de Jupiter, sur des plans qui passent constamment entre l'équateur et l'orbite de la planète, par leur intersection mutuelle ; et ils sont d'autant plus inclinés à cet équateur, que les satellites sont plus éloignés de Saturne.

On a plus d'incertitude encore sur les perturbations qu'éprouvent les satellites d'Uranus, qui

n'ont encore été bien observés que par le célèbre Herschel. Seulement l'analyse montre que ces petits corps doivent être retenus à-peu-près dans le plan de l'équateur de la planète.

Des Perturbations des Comètes.

Puisque l'attraction agit en raison des masses, il n'existe pas de corps planétaires qui doivent éprouver des perturbations plus grandes que les comètes, qui sont des corps toujours très-petits en comparaison des planètes et même de leurs satellites. Aussi, comme nous l'avons déjà remarqué, la première comète de 1770 passa dans le voisinage de la Terre et au milieu des satellites de Jupiter, sans exercer d'action sensible, tandis qu'elle se trouva tellement déviée dans sa marche, qu'on ne l'a plus revue depuis, quoique, d'après les calculs, elle dût reparaître cinq ans et demi après. La comète de 1682, calculée par Halley, a retardé de treize mois, à cause de l'action de Jupiter et de Saturne, comme Clairaut l'avait assez bien prévu; et l'estimation de ce géomètre aurait été plus exacte encore s'il avait pu tenir compte de l'action d'Uranus, qui n'était pas encore découvert.

Malgré le grand nombre de comètes qui ont traversé notre système planétaire dans tous les sens, on n'a pas encore remarqué, jusqu'à pré-

sent, de dérangemens sensibles ; d'où l'on doit naturellement conclure que la masse des comètes est toujours très-petite. Nous avons déjà remarqué que, lors même qu'une comète passerait dans le voisinage de la Terre, sa vîtesse serait si grande qu'elle n'exercerait pas d'effet sensible sur les eaux de la mer, pour vaincre leur inertie et les soulever vers elle.

Il est probable que les comètes dont les orbites sont très-alongées, en se dirigeant vers d'autres systèmes planétaires semblables au nôtre, sont quelquefois déviées et vont décrire d'autres trajectoires autour de nouvelles planètes ; de sorte qu'il en peut exister qui sont errantes de systèmes en systèmes solaires.

CHAPITRE III.

Des Masses des Planètes.

On peut estimer la masse d'une planète de plusieurs manières, mais toujours en partant de l'estimation des actions qu'exerce cette masse. Ainsi M. de Laplace a évalué les masses de Jupiter, de Saturne et d'Uranus, en comparant la vîtesse de ces planètes à celle de leurs satellites respectifs : il s'est appuyé pour cela sur le théorème suivant, que l'on démontre par l'analyse. La masse du Soleil est à celle de la planète,

comme le cube du grand axe de l'orbe d'un astre qui tourne autour du Soleil, divisé par le carré de sa révolution sidérale, est au cube du grand axe de l'orbe du satellite qui tourne autour de la planète, divisé par le carré de sa révolution sidérale. Il faudra donc, pour estimer la masse de la planète, connaître celle du Soleil, qu'on pourra prendre pour unité; il faudra connaître aussi la distance de la planète au Soleil et sa révolution sidérale, ainsi que la distance du satellite à la planète et sa révolution sidérale.

On pourrait, par la même méthode, déterminer la masse de la Terre, qui est aussi pourvue d'un satellite; mais M. de Laplace a préféré chercher son résultat dans la comparaison de la vîtesse de la planète, à la pesanteur observée à sa surface. Comme effectivement la vîtesse de la Terre dépend de la force d'attraction du Soleil, on conçoit que, connaissant les attractions des deux corps que l'on compare, on pourra estimer les masses, puisque l'attraction est en raison directe de ces masses. Maskeline a encore estimé, d'une manière fort ingénieuse, la densité de la Terre, en ayant égard à la déviation qu'éprouve un pendule dans le voisinage d'une forte montagne. En comparant cette attraction à celle de la Terre, il trouve que notre globe a une densité moyenne, qui vaut à-peu-près quatre fois et demie celle de l'eau. On peut consulter, sur cette

partie intéressante, la Mécanique de M. Poisson.

Les masses de Vénus et de Mars ont été évaluées d'après les changemens séculaires que ces planètes produisent dans les élémens du système solaire. Ces planètes doivent, en effet, exercer, à cause de leur voisinage, une influence assez grande sur la Terre et sur la Lune; or, c'est d'après les effets de cette influence que l'analyse parvient à déterminer les masses qui les produisent.

Quant à Mercure, M. de Laplace, pour déterminer sa masse, a été forcé de supposer que la densité de cette planète et celle de la Terre sont réciproques aux moyennes distances des deux planètes au Soleil. Cette hypothèse, qui se rapporte à celle de Kepler, satisfait assez bien aux densités respectives de la Terre, de Jupiter et de Saturne. Mais comme les densités des corps sont proportionnelles aux masses divisées par les volumes, on pourra estimer sans peine la masse de Mercure, puisque le volume est connu par l'observation du diamètre apparent. Les valeurs des masses et des densités des planètes, dont nous venons de parler, se trouvent indiquées dans le tableau des principaux élémens des corps planétaires, page 213. On n'a pas encore pu observer assez les mouvemens des astéroïdes, pour tenir compte de leurs masses avec quelque précision.

Nous avons vu précédemment, en parlant des perturbations des satellites, qu'on est parvenu à estimer approximativement les masses de ces corps, qui sont fort peu considérables. Les masses des comètes paraissent être bien moindres encore. Ainsi tout concourt à prouver la supériorité de la mécanique céleste, qui est parvenue à placer les corps célestes dans sa balance et à en apprécier les poids.

Des lois de la Pesanteur à la surface des planètes et de la Force centrifuge.

On a nommé *pesanteur* cette force en vertu de laquelle un corps tend à se porter vers un autre : ainsi une pierre tend à descendre vers le centre de la Terre, et l'effort qu'elle exerce sur la main qui la soutient est la mesure de sa pesantenr. Comme la pesanteur est un effet de l'attraction, elle doit nécessairement être d'autant plus énergique, que le corps qui attire a plus de masse et que la distance au centre d'attraction est moindre. Une pierre, transportée de notre globe sur Jupiter, doit y avoir une pesanteur différente, par ce que la masse de cette dernière planète est plus forte et que la distance au centre d'attraction est plus grande. Pour avoir l'intensité de la pesanteur à la surface des planètes, il faut, d'après le principe de Newton, la prendre propor-

tionnelle aux masses de ces corps, divisées par les carrés de leurs diamètres. Ceci suppose cependant que les planètes soient exactement sphériques, ce qui n'a pas lieu dans la nature. La présence d'une atmosphère apporte aussi des modifications à la pesanteur, car, dans les usages habituels, nous sommes forcés de prendre la pesanteur *relative* des corps, au lieu de leur pesanteur *absolue*, qu'on ne pourrait estimer que dans le vide. Pour prendre un exemple de ce qui précède, supposons qu'une pierre dont la pesanteur est représentée par l'unité, soit transportée sur Jupiter; pour avoir sa pesanteur x sur cette dernière planète, il faudra écrire la proportion suivante d'après le principe que nous venons d'énoncer, $1 : x :: \frac{1}{1} : \frac{339,3}{11,55^2}$. Les nombres qui représentent les masses et les diamètres des deux planètes ont été pris dans le tableau que nous avons donné dans le livre précédent; on déduit de cette proportion que la valeur x de la pesanteur de cette pierre, sur Jupiter, serait 2,54; sur le Soleil, cette même pierre pèserait à-peu-près 29,36, et sur Mercure 1,15. Ces valeurs doivent être diminuées lorsqu'on veut avoir égard aux effets des *forces centrifuges* dues à la rotation des planètes. Comme ces forces jouent un grand rôle dans les phénomènes célestes, il ne sera pas hors de propos d'en donner ici quelques notions.

On a un exemple de la force centrifuge dans

la tension qu'éprouve le fil d'une fronde que l'on fait tourner autour d'un point fixe. Le corps placé dans la fronde a aussi une tendance à s'éloigner du centre, et s'il ne s'échappe point, c'est qu'il obéit encore à une autre force qui l'attire vers ce centre et qui fait équilibre à la force centrifuge : quelle que soit sa nature, on la nomme *centripète*. Ces deux espèces de forces ont reçu le nom de *forces centrales;* et l'on comprend sous cette désignation toutes les forces qui agissent sur un corps en mouvement autour d'un point, soit pour l'écarter, soit pour le retenir.

Voici à-peu-près comment le célèbre Huyghens a expliqué les effets de ces différentes forces. Supposons qu'un corps planétaire décrive autour du point *o* l'arc *a'a* (fig. 19) : si, au moment où ce corps arrive en *a*, la force d'attraction qui tend à le rapprocher du point *o*, cessait tout-à-coup son action, ce corps décrirait la tangente *at*, en vertu du mouvement qu'il avait précédemment ; c'est en effet ce qui arrive à la pierre qui s'échappe d'une fronde, et à la boue que projette la circonférence d'une roue. Mais si les forces ne perdent rien de leur intensité, dans la seconde qui suit l'instant où le corps arrive en *a*, ce corps obéit à une force accélératrice qui le porterait jusqu'en *c'*, et à la force acquise qui le porterait en *t*. Si l'on construit alors le parallélogramme *cabt*, dont *at* forme la diagonale et dont le

côté $ac = ac'$, on pourra, à la force unique qui pousserait le corps de a en t, substituer deux forces capables de le porter dans le même temps de a en c et de a en b. Il revient donc au même de considérer le corps comme soumis à deux forces qui le pousseraient dans les directions de ac' et at, ou à trois qui agiraient selon ac', ac et ab. Mais, dans cette dernière hypothèse, les forces qui agissent selon ac' et ac, étant égales et directement opposées, s'entredétruisent, et il ne reste plus que la force capable de porter le corps de a en b. Ainsi le mouvement doit se continuer selon ab; ac' représente ici la force centripète, et ac la force centrifuge qui lui fait équilibre.

On voit sans peine que la tangente at et sa parallèle bc' sont perpendiculaires au rayon ao; mais on sait, par une propriété de la géométrie élémentaire, que la corde de l'arc ab, ou l'arc ab lui-même, qui est infiniment petit, est une moyenne proportionnelle entre le diamètre du cercle et le segment adjacent ac'; on en déduit donc pour valeur de ac' la quantité $\frac{ab^2}{2ao}$. On voit par là que la force centripète ou la force centrifuge, qui lui est toujours égale et directement opposée dans les mouvemens des corps célestes, peut s'estimer sans peine, quand on connaît la distance de ces corps au centre d'attraction et la grandeur de l'arc parcouru en une seconde. Pour en donner un exemple, supposons qu'on ait à

déterminer la force centrifuge d'un corps placé à la circonférence de l'équateur terrestre. Nous observerons d'abord que le rayon *ao* de cet équateur est à-peu-près de 6,375,793 mètres : de plus, comme, en une seconde de temps, ce corps parcourrait, en vertu du mouvement diurne, un arc qui serait environ 0,004 d'un degré de la circonférence de l'équateur, ou 400 mètres. Nous aurons pour valeur de la distance que la force centrifuge ferait parcourir sous l'équateur, $ac = \frac{400^2}{2 \times 6375793} = 0,01265$. Mais la physique nous apprend qu'un corps tombant dans le vide à l'équateur parcourrait un espace de $3^m,64933$ en une seconde. Ainsi la force centrifuge due au mouvement de la rotation de la terre est à la pesanteur sous l'équateur comme 0,01265 est à 3,64933, ou bien comme 1 à 288,5. On voit par là que la force centrifuge est à-peu-près $\frac{1}{289}$ de la gravité.

La force centrifuge diminue la pesanteur, et les corps ne tombent sous l'équateur qu'en vertu de la différence de deux forces $3^m,64933 - 0,01265 = 3,63668$. Pour que la pesanteur eût la plénitude de son effet, il faudrait que la rotation diurne de la Terre n'existât pas; alors la force centrifuge serait nulle. On calcule que si la Terre avait une rotation dix-sept fois plus rapide, c'est-à-dire, de manière qu'elle fît sa révolution journalière en 1 heure 24 minutes à-peu-près, la

force centrifuge deviendrait assez grande pour détruire l'effet de la pesanteur, et un corps placé sous l'équateur ne tomberait plus, et cesserait conséquemment de peser. La force centrifuge diminue à mesure qu'on se rapproche du pôle où elle est nulle : sur les différens points du globe, elle est proportionnelle aux rayons des parallèles à l'équateur.

L'espace que parcourt un corps en tombant pendant un temps donné, est dépendant de la pesanteur et lui est proportionnel à la surface des planètes. Ainsi dans les lieux où la pesanteur est double de ce qu'elle est sur un point de notre Terre, l'espace que parcourt un corps en une seconde est également double de ce qu'il est sur notre Terre. Voici un petit tableau qui donne les valeurs de la pesanteur et de la chute des corps à la surface des planètes.

	PESANTEUR.	CHUTE EN 1''.
		P.
Soleil.	27,89	421,139
Mercure.	1,07	16,157
Vénus.	1	15,07
Terre.	1	15,10
Lune	0,228	3,44
Mars	0,46	6,95
Jupiter.	2,55	38,51
Saturne.	1,3	19,63
Uranus.	0,95	14,35

De la figure des Planètes, de la théorie du Pendule et du Système décimal.

Un corps céleste qui se trouverait dans un état de repos, et qui aurait toutes ses particules parfaitement mobiles, comme celles de l'eau, devrait finir par prendre la forme sphérique en vertu de l'action de la gravité. Mais si un pareil corps reçoit un mouvement de rotation autour d'un axe, il naîtra de ce mouvement une force centrifuge qui tendra à diminuer l'action de la gravité. Les molécules, ayant à l'équateur une vîtesse beaucoup plus grande que sur tout autre point de ce globe, auront une plus grande tendance que partout ailleurs à s'écarter de l'axe de rotation; aux pôles, au contraire, où la vîtesse est nulle, cette tendance sera nulle également. Le globe, en vertu de son mouvement de rotation, devra donc perdre de sa forme sphérique et se renfler vers l'équateur en s'aplatissant aux pôles : sa forme devient alors celle d'un ellipsoïde aplati.

Nous avons déjà reconnu dans le livre précédent que tous les corps planétaires avaient généralement un aplatissement dans le sens de l'axe de rotation : cette forme tend à appuyer l'hypothèse ingénieuse de M. de Laplace sur l'origine des corps qui composent notre système planétaire. On a deux moyens principaux pour déterminer

l'aplatissement de la Terre ; 1° la mesure de la pesanteur sur différens points de sa surface ; 2° la mesure des degrés des arcs du méridien et de ceux du parallèle à l'équateur. Si l'on se trouve, en effet, sous l'équateur, plus éloigné du centre de la Terre que vers le pôle, on doit remarquer que la pesanteur y est moindre, et que les corps y tombent plus lentement qu'au pôle ; c'est ce qui a lieu en effet. Voici comment on a pu s'en assurer. On sait que le *pendule* ou le corps suspendu librement à une verge métallique ou bien à un cordon, se met à osciller dès qu'on le soulève et qu'on l'abandonne à lui-même. Ces oscillations n'ont lieu qu'en vertu de la pesanteur qui tend toujours à faire descendre le corps vers le centre de la terre. Si donc la pesanteur était nulle, les oscillations seraient nulles aussi, et le corps serait en repos dans toutes les positions qu'on pourrait lui donner. Les oscillations, au contraire, seront d'autant plus nombreuses, toutes choses égales d'ailleurs, que la pesanteur sera plus forte. Comme on s'est assuré par des expériences nombreuses que les oscillations du pendule s'accélèrent en s'avançant de l'équateur vers le pôle, on doit en conclure que la pesanteur augmente et qu'on se rapproche du centre de la Terre. La diminution de la pesanteur, en s'éloignant du pôle, tient encore à une autre cause, comme nous l'avons vu précédemment, c'est-à-

dire, à la force centrifuge. En tenant compte de cette force et en ayant égard aux oscillations du pendule, on a trouvé que le rayon de la Terre qui va au pôle est moindre d'un 309e que celui qui va vers l'équateur. L'aplatissement est d'environ 4 lieues et demie, le demi-diamètre de l'équateur étant de 1435 lieues, et celui du pôle de 1430,4.

La détermination de la figure de la Terre n'est pas sans quelques inconvéniens, quand on veut se contenter des observations du pendule: aussi l'on préfère employer la méthode plus longue, mais plus directe, de la mesure des degrés des arcs du méridien et des parallèles à l'équateur.

Si la Terre était parfaitement sphérique, toutes les verticales, menées en différens points de sa surface, iraient se couper à un centre commun; et celles qui formeraient des angles égaux comprendraient aussi entre elles des arcs égaux. Ainsi, dans cette circonstance, tous les degrés de longitude et de latitude seraient de même dimension; mais si la Terre a toute autre courbure, les verticales ne pourront se couper en un même point commun, et le degré de longitude et de latitude n'aura point la même longueur dans tous les lieux. C'est ce qu'on observe en effet: on trouve que les degrés de latitude vont en croissant de l'équateur vers le pôle. Un méridien terrestre *aa'* peut être considéré comme com-

posé d'une suite de petits arcs *a a'*, *a' a''*, etc., de même valeur, mais d'inégale courbure, et se succédant bout à bout (fig. 20). Les arcs tels que *a a'*, qui ont le plus de courbure, se trouvent vers l'équateur, et ceux qui ont le moins de courbure, comme *a'''' a*ᵛ sont vers le pôle : ces derniers sont donc plus longs que les premiers. L'inverse est également vrai ; c'est-à-dire, que si l'on trouve que la longueur de l'arc d'un degré au pôle surpasse celle d'un degré à l'équateur, le méridien a moins de courbure dans le premier lieu que dans le dernier. On a reconnu, de cette manière, que le sphéroïde de la Terre n'est pas un ellipsoïde de révolution, comme on l'avait cru d'abord ; mais que sa forme est très-composée et ne peut être bien déterminée que par un grand nombre de mesures de degrés de différens méridiens. On peut néanmoins dans nos régions assimiler, sans une erreur bien sensible, la forme de la Terre à celle d'un ellipsoïde qui a un aplatissement de $\frac{1}{309}$.

Eratosthène, chez les anciens, s'était occupé de la mesure de la Terre ; mais malheureusement la valeur de l'unité métrique dont il s'est servi n'est point parvenue jusqu'à nous. Fernel, médecin de Henri II, mesura en France un arc de méridien vers 1528, et la valeur qu'il obtint, pour la mesure d'un degré, s'écarte assez peu de celle que l'on a maintenant, quoique sa mé-

thode fût loin d'avoir la rigueur convenable.

Vers la fin du dix-septième siècle, Picard mesura, d'après la méthode du géomètre hollandais Snellius, un arc du méridien dans les environs de Paris. Cette méthode consiste à former une triangulation ou un enchaînement de triangles dont les sommets tombent sur des points remarquables, et, entre autres, sur les deux lieux dont on veut estimer la distance. On commence par mesurer, avec la plus grande précision, un des côtés de tous ces triangles que l'on prend pour base ; et, après avoir fait le relevé des angles, la trigonométrie enseigne à calculer la distance que l'on veut obtenir.

Lahire continua la triangulation de Picard, et l'étendit jusqu'à *Dunkerque ;* Cassini la porta dans le midi jusqu'à *Perpignan*. C'est ainsi que l'on a mesuré l'arc du méridien qui s'étend à travers la France, depuis *Dunkerque* jusqu'à *Mont-Joui*, près de *Barcelone*, et qui comprend à-peu-près 9 degrés et demi. Les premières recherches géodésiques firent reconnaître une inégalité dans la longueur des degrés du méridien : mais comme cette inégalité, à cause de sa petitesse, empêchait de déduire des conséquences relativement à la figure de la Terre, l'Académie royale des Sciences de Paris résolut d'envoyer des savans choisis dans son sein pour mesurer deux arcs de méridien vers l'équateur et vers le pôle. *Clairaut*,

Maupertuis et d'autres se rendirent donc dans la Laponie suédoise ; et *Godin, Bouguer, La Condamine*, partirent pour le Pérou. Il résulta de leurs observations que la Terre était effectivement aplatie vers le pôle ; mais l'aplatissement fut trouvé plus considérable qu'il ne l'était en effet. L'habile observateur Lacaille revint sur les calculs précédens, et trouva également que les degrés s'alongeaient en se dirgeant vers le pôle.

Les astronomes *Méchain* et *Delambre*, ayant été chargés de mesurer un arc du méridien pour en déduire la longueur du mètre qui devait servir d'étalon pour les autres mesures, apportèrent la plus grande précision et les soins les plus minutieux dans ce nouvel examen. Leurs opérations furent continuées avec beaucoup de talent par MM. *Biot* et *Arago*, qui prolongèrent la mesure du méridien, d'une part jusqu'aux Orcades, et de l'autre jusqu'aux îles Baléares (1). De leurs observations, on a déduit les résultats que nous avons fait connaître précédemment. On a trouvé aussi que la longueur de l'arc du méridien, entre le pôle et l'équateur, était de 5,130,740 toises.

(1) De nouvelles recherches viennent d'être faites sur la mesure des arcs de parallèles, dans le midi de la France, par MM. Nicollet et Brousseaud, d'une part, et par MM. Plana et Carlini, de l'autre. Les résultats sont que l'aplatissement général du globe est de $\frac{1}{282,82}$; et, pour le sphéroïde osculateur en France, $\frac{1}{254,65}$.

Afin d'avoir une mesure linéaire qui pût être vérifiée à toutes les époques, et qui ne fût point sujette à s'égarer, comme les mesures dont se servaient les anciens, on convint, lors de l'établissement du nouveau système métrique, de prendre pour unité de mesure la dix-millionième partie de la distance du pôle à l'équateur, et l'on fit le *mètre* égal à 0,5130740 de la toise. En considérant les degrés en particulier, on trouve qu'ils ont les valeurs suivantes, dans le système décimal, et pour quelques lieux marquans de la Terre.

A l'Équateur.	0°	=	99552m3
En Pensylvanie.	43,56	=	99787,1
En Italie.	47,80	=	99948,7
En France.	51,33	=	100017,9
En Autriche.	53	=	100114,2
Dans le Nord.	73,7	=	100696,0

On convint encore, en partant toujours de la même idée, de faire le *litre* ou l'unité de capacité, égal à un décimètre cube ; de faire le *gramme* ou l'unité de poids, égal au poids d'un centimètre cube d'eau distillée prise à la température de la glace fondante. La mesure agraire ou l'*are* reçut la valeur de cent mètres carrés, et l'unité monétaire ou le *franc* forma la valeur d'une pièce d'argent à $\frac{9}{10}$ de fin, pesant cinq grammes. C'est ainsi que l'astronomie fournit l'unité qui servit de base à la construction du système décimal, l'un des plus beaux monumens de la science.

CHAPITRE IV.

Application de ce qui précède à la théorie de la Lune.

La Lune, en vertu de la seule attraction de la Terre, exécuterait son mouvement de révolution dans une ellipse inaltérable; mais le Soleil, placé à une distance fixe, agit continuellement sur cet astre, et fait changer l'inclinaison ainsi que la forme et la grandeur de son orbite. Ces déplacemens ont beaucoup occupé les géomètres, et particulièrement Euler, Clairaut, Dalembert, Lagrange, Laplace, Poisson, etc., qui ne sont parvenus qu'à les estimer approximativement. Les recherches mathématiques auxquelles les actions combinées du Soleil, de la Terre et de la Lune ont donné lieu, sont devenues célèbres dans l'histoire de la science et sont ordinairement désignées sous le nom de *problême des trois corps.*

Nous allons examiner les principales inégalités auxquelles le mouvement de la Lune est assujetti. Nous examinerons d'abord les altérations que subit l'orbite de cet astre dans son inclinaison sur l'écliptique, et ensuite celles qu'elle éprouve dans sa forme et sa grandeur.

Supposons la Lune en un point quelconque de sa trajectoire et le Soleil exerçant sur cet astre une action selon une droite généralement oblique à l'écliptique. On pourra d'après le théorème

connu du parallélogramme des forces, décomposer cette action en deux autres, dont l'une sera égale et parallèle à celle que subit également la Terre de la part du Soleil, et dont l'autre aura une intensité et une direction déterminée. La première de ces composantes ne peut produire aucun dérangement dans les mouvemens relatifs, puisque la Terre et la Lune y sont également soumis. L'autre, au contraire, tendra continuellement à déranger le dernier astre dans son orbite, et se comportera comme une *force perturbatrice.*

Il existe donc une force perturbatrice qui passe continuellement par le centre de la Lune, et dont l'intensité dépend de la position de ce dernier astre à l'égard du Soleil ; nous allons chercher à apprécier les effets qu'elle produit. Pour cela, concevons du centre de la Lune, une perpendiculaire abaissée sur l'écliptique. Concevons de plus, par cette perpendiculaire et la direction de la force perturbatrice, un plan qui coupera l'orbe de la Lune selon une troisième droite. On pourra décomposer de nouveau la force perturbatrice selon cette dernière droite, et la perpendiculaire à l'écliptique. On aura ainsi, au lieu d'une seule force perturbatrice deux autres, dont l'une agira pour ramener la Lune vers l'écliptique, et dont l'autre agira pour troubler le même astre dans son orbite ; c'est la considération de ces deux forces qui va nous donner l'explication des principales inégalités de la Lune.

Considérons d'abord la force perturbatrice qui agit sur l'astre pour le ramener dans le plan de l'écliptique. Pour cela, soit E N l'écliptique et L b le petit arc que décrirait la Lune en un instant donné (fig. 21) ; soit aussi La l'espace que parcourrait l'astre dans le même temps, en vertu de la force perturbatrice du Soleil qui tend à le ramener vers l'écliptique. La Lune, obéissant à deux forces qui devraient la transporter dans le même temps en a et en b, suivra la diagonale Ll du parallélogramme aLbl, comme l'enseigne la composition des forces. L'orbite lunaire devient donc Ll, au lieu de Lb, et le nœud qui était en N se trouve transporté en N' ; ainsi le nœud s'est avancé en sens contraire au mouvement de la Lune en longitude. On remarquera, d'une autre part, que le nouvel angle d'inclinaison de l'orbite LN'E est plus grand que l'ancien LNE. Cette inclinaison est croissante tant que la Lune est au-dessus de l'écliptique ; mais elle se rétablit peu à peu quand l'astre est au-dessous de ce même plan. Les nœuds seuls continuent à rétrograder.

Nous déduirons de ce qui précède, que la Lune subit deux altérations, l'une dans l'*inclinaison* de son orbite par suite de laquelle ce plan paraît osciller autour d'un état moyen invariable avec la suite des siècles ; l'autre dans la *direction* de la ligne des nœuds qui, par son mouvement ré-

trograde, décrit environ 19°,3286 par an, ou bien une circonférence entière dans l'espace de 6693,39 ou de 18 ans 7 mois $\frac{1}{2}$.

Les deux mouvemens combinés dont nous venons de parler, en produisent un troisième dans l'axe de rotation de la Lune, qui décrit une petite surface conique autour d'une perpendiculaire à l'orbe de cet astre. Ce mouvement a reçu le nom de *nutation* de la Lune.

Nous avons décomposé précédemment l'action perturbatrice du Soleil sur la Lune en deux autres, dont l'une perpendiculaire à l'écliptique produit les dérangemens dont nous venons de parler, et dont l'autre agissant dans l'orbite même de la Lune, produit également des perturbations dont nous allons nous occuper.

Soit L*m* l'orbite lunaire, T le centre de la Terre et L*p* la partie de la force perturbatrice dont il s'agit (fig. 22). On pourra décomposer cette force L*p* en deux autres L*c* et L*t*, l'une dirigée dans le sens du rayon vecteur TL, et l'autre tangente à l'orbite. La première agira donc pour changer la pesanteur de la Lune vers la Terre, et la seconde pour altérer la vîtesse de translation du même astre. Ces forces perturbatrices, du reste, augmentent et diminuent alternativement la vîtesse de la Lune et sa pesanteur vers la Terre. Ces inégalités dépendent des différentes positions que peut prendre l'astre par rapport au Soleil et à la Terre.

Tycho-Brahé observa le premier, qu'en partant, par exemple, du point de la conjonction, la vîtesse de la Lune se ralentissait jusqu'au premier quartier ; que depuis le premier quartier, elle augmentait jusqu'à l'opposition ; qu'elle diminuait dans la troisième partie de l'orbite, puis s'accélerait dans la quatrième, pour recommencer ensuite les mêmes alternatives. Ces diminutions et augmentations périodiques de mouvemens qui dépendent de la position de la Lune par rapport aux syzygies ou à la ligne qui joint les centres du Soleil, de la Terre et de la Lune, lorsque ces astres sont en eonjonction ou en opposition, ont pris, en astronomie, le nom de *variation.*

On doit encore à Tycho-Brahé la connaissance de ce qu'on nomme l'*équation annuelle*, qui est une inégalité dépendante du lieu de la Terre dans l'écliptique. Dans le cours d'une année, la Terre, en effet, avec la Lune qui l'accompagne, se rapproche et s'éloigne successivement du Soleil ; il en résulte que lorsque notre globe en hiver vient passer au périhélie, le Soleil plus rapproché de la Lune exerce une action plus forte pour diminuer sa pesanteur et dilater son orbite ; en été, au contraire, l'action solaire est moins forte et l'orbite lunaire se resserre autour de notre globe. Ces dilatations et contractions successives de l'orbite de la Lune constituent l'équatio

annuelle, et leur période s'accomplit dans l'espace d'une année.

Puisque l'orbe lunaire se dilate et se contracte alternativement, et que le temps de la révolution d'un astre dépend de l'étendue de son orbe, on doit en conclure que le temps périodique doit être plus court en été qu'en hiver.

Nous avons vu précédemment que la partie L*t* de la force perturbatrice produit la variation, en ralentissant et accélérant la vîtesse de la Lune (fig. 22); et que l'autre partie L*c* produit l'équation annuelle, en faisant varier la pesanteur de l'astre vers la Terre pendant le cours d'une année. Cette même partie L*c* de la force perturbatrice donne aussi naissance à l'*évection*, autre inégalité qui fut indiquée par Ptolémée. Hipparque avait déjà fait connaître aux anciens l'excentricité de l'orbe lunaire, et avait montré par là pourquoi la vîtesse de la Lune n'était pas toujours la même, et pourquoi cette vîtesse atteignait son *maximum* et son *minimum* aux extrémités de la ligne des absides. Ptolémée observa que d'une révolution à l'autre, les quantités absolues de ces vîtesses extrêmes variaient, et que plus le Soleil s'éloignait de la ligne des absides de la Lune, plus la différence entre ces deux mêmes vîtesses allait en augmentant. Voici comment on peut se rendre compte de cette inégalité, ainsi que du *mouvement de l'axe* des absides. Nous avons déjà vu que l'ac-

tion du Soleil tendait à faire varier la pesanteur de la Lune vers la Terre ; en examinant ce que devient l'intensité L *c* de cette action, on trouve que la pesanteur augmente dans les quadratures et diminue au contraire aux syzigies ; la diminution de la pesanteur est à-peu-près double de l'augmentation. Or, nous savons que la Lune commence à dépasser son périgée, quand elle a le *maximum* de vîtesse et conséquemment le plus de force pour vaincre l'attraction de la Terre. Ainsi le Soleil, en diminuant la pesanteur et en favorisant la vîtesse de la Lune, change l'instant où cet astre passe au périgée, et voit ce dernier point constamment se diriger vers lui. Le contraire a lieu aux époques où le Soleil opère une augmentation dans la pesanteur de la Lune ; le périgée se meut alors en sens opposé. Mais comme la diminution est double de l'augmentation, le mouvement direct du périgée vers le Soleil surpasse le mouvement rétrograde. Il arrive de là que l'axe des absides de l'orbe lunaire se meut dans l'ordre des signes ; l'arc parcouru dans l'espace d'un an est de 40°,65, et une circonférence entière est décrite dans l'espace de 3232,5756 jours ou 9 ans environ. Mais pendant que la Terre exerce ces influences, l'excentricité de l'orbite lunaire doit varier également, et ces variations deviennent sensibles par une altération dans la vîtesse de la Lune, qui subit alternativement des

avances et des retards. C'est ce changement d'excentricité qui constitue l'*évection.*

En comparant les observations anciennes aux observations modernes, on avait remarqué que le mouvement de la Lune s'accélérait. On avait fait différéntes conjectures sur la nature de cette accélération, mais M. de Laplace a fait voir, dans sa Mécanique céleste, que l'*équation séculaire* de la Lune provient de l'action du Soleil sur ce satellite, combinée avec la variation de l'excentricité de l'orbe terrestre. Cette accélération pourra être représentée désormais en ajoutant aux longitudes moyennes de l'astre, le nombre 10'' multiplié par le carré du nombre des siècles écoulés depuis 1800.

Nous ne reviendrons pas ici sur la *libration* de de la Lune, dont il a été question dans le livre précédent. Nous avons vu que ce phénomène est purement optique et n'affecte pas le mouvement réel de translation de l'astre.

Il résulte donc de ce qui précède, que la Lune subit plusieurs inégalités, dont les principales concernent l'*inclinaison* de son orbite, la *direction* de la ligne des nœuds et de la ligne des absides, la direction de son axe de rotation, ce qui donne lieu à la *nutation;* les autres inégalités qui affectent son mouvement et la forme de son orbite, sont désignées ordinairement sous les noms d'*évection*, de *variation*, d'*équation annuelle*, d'*équation séculaire*, *etc.*

CHAPITRE V.

Applications de ce qui précède à la théorie de la Terre.

Si la Terre était un corps parfaitement sphérique et homogène dans toute son étendue, l'action solaire agirait sur elle, comme si sa masse était réunie en son centre ; le calcul montre encore que la ligne équinoxiale ou ligne d'intersection de l'écliptique et de l'équateur terrestre, demeurerait toujours parallèle à elle-même. Mais il n'en est pas ainsi dans la réalité : nous avons vu que la Terre était aplatie vers les pôles, nous pouvons alors la concevoir comme formée d'une sphère recouverte d'un *ménisque* ou enveloppe annulaire dont l'épaisseur augmente en avançant des pôles vers l'équateur. D'après ce qui précède, nous ne devons avoir égard qu'à l'action qu'exerce le Soleil sur le ménisque, et nous reconnaîtrons les mêmes dérangemens que ceux qu'éprouve la Lune dans ses nœuds. Le Soleil, en effet, attirera toujours le ménisque vers l'écliptique, et il en résultera que la ligne d'intersection de ce dernier plan avec l'anneau ou l'équateur, aura un mouvement rétrograde. Ainsi la ligne équinoxiale, de même que la ligne des nœuds de la Lune, se dirigera lentement contre l'ordre des

signes, car, à cause de la continuité de notre globe, le ménisque ne peut se déplacer qu'en entraînant avec lui la sphère qu'il renferme.

Le Soleil, par son mouvement apparent, parcourt les signes du Zodiaque directement, c'est-à-dire, en se dirigeant du Bélier vers le Taureau, du Taureau vers les Gémeaux, et ainsi de suite. La ligne équinoxiale, au contraire, se dirige en sens opposé, de sorte qu'elle va rencontrer le Soleil plutôt que la rencontre n'aurait lieu sans ce déplacement; l'année tropique, ou le temps du retour de la Terre au même équinoxe, est donc moindre que l'année sidérale, ou le temps du retour à la même étoile. On a donné le nom de *précession* à ce mouvement de l'équinoxe; le déplacement n'est que de 50",1 par an, ou d'un degré dans l'espace de 72 ans environ; de sorte qu'il faut 2156 ans pour que l'équinoxe se déplace de 30°, et 25868 ans pour que ce point ait fait le tour du Zodiaque.

En estimant le temps nécessaire pour que la Terre parcoure un petit arc de 50",1, on trouve 20'.33 de temps moyen; cette quantité forme l'excès de l'année sidérale sur l'année tropique.

Puisque le point équinoxial, d'où l'on commence à compter les longitudes des étoiles, se déplace annuellement de 50",1; c'est comme si la voûte étoilée avait tourné autour de l'axe de l'écliptique, en décrivant un arc de même valeur. Toutes les longitudes des étoiles se trouvent donc

altérées de la même quantité, par le dérangement de l'équinoxe ; mais la latitude demeure constante, parce que, d'après leur mouvement apparent, les étoiles décrivent des arcs parallèles à l'écliptique, et s'en trouvent conséquemment toujours également éloignés. Les ascensions droites et les déclinaisons des étoiles dépendent des longitudes et latitudes, et doivent changer avec elles. Il faut remarquer cependant que l'altération dans les longitudes est la même pour toutes les étoiles, et que l'altération est variable pour les ascensions droites et les déclinaisons. On peut calculer cette altération, et on la donne ordinairement dans les catalogues d'étoiles, sous le nom de *variation annuelle*.

La précession des équinoxes donne naissance à un nouveau mouvement apparent ; de sorte que nous en connaissons maintenant trois principaux : le mouvement diurne des astres, dû à la rotation de la Terre sur son axe, qui s'accomplit en 24 heures ; le mouvement annuel du Soleil, dû à la translation de la Terre, qui s'accomplit en un an ; et le mouvement de précession, dû au déplacement des équinoxes, qui semble faire tourner la sphère céleste autour des pôles de l'écliptique, dans l'espace de 25,868 ans. Ces deux derniers mouvemens apparens s'accomplissent dans le même sens, c'est-à-dire, dans l'ordre des signes. Le pôle de l'écliptique, visible pour nous, se trouve

dans le corps du Dragon, et c'est autour de lui que la sphère étoilée tourne lentement et d'un mouvement apparent, comme elle tourne en 24 heures autour des pôles du monde. Il y a cette différence cependant que si une étoile se trouvait justement au pôle de l'écliptique, elle y resterait invariablement dans la suite des siècles, tandis que notre étoile polaire s'écarte peu à peu du pôle, sans que ses déplacemens soient sensibles en 24 heures. Elle décrit, en effet, annuellement autour du pôle de l'écliptique, comme toutes les autres étoiles, un petit arc de 50",1. Il viendra donc un jour où l'étoile que nous nommons la Polaire sera bien loin de notre pôle, et pourra se trouver remplacée par une autre étoile. Ce mouvement de la Polaire n'est qu'apparent ; c'est l'axe de la Terre même qui se déplace avec l'équateur auquel il est perpendiculaire, et il décrit une surface conique autour de l'axe de l'écliptique. Du reste ces mouvemens sont si lents que la vie d'un homme suffit à peine pour observer un déplacement d'un degré dans la Polaire.

Ces changemens nous montrent la nécessité de ne pas confondre les signes du Zodiaque avec les groupes d'étoiles qui portent les mêmes noms. Autrefois le point équinoxial se trouvait dans le signe du Bélier, et était placé effectivement dans la constellation qui porte ce nom ; mais, par l'effet de la précession, le point équinoxial

s'est déplacé, et se trouve maintenant dans le groupe d'étoiles qui porte le nom des Poissons et près du Verseau; cependant on continue à dire encore que l'équinoxe a lieu dans le Bélier. Cette confusion devrait bien porter les astronomes, comme M. Francœur l'observe dans son Uranographie, a adopter d'autres dénominations.

Si le mouvement de précession n'existait pas, un Zodiaque qui indiquerait la position de l'équinoxe de printemps, pourrait servir à une époque quelconque, car ce point n'aurait pas varié. Mais s'il se trouve qu'en admettant la précession telle que nous la connaissons, le point équinoxial soit dans le Zodiaque à un signe de distance de l'endroit où il est maintenant, on pourra en conclure que ce Zodiaque a été construit il y a plus de deux siècles. C'est de cette manière que l'on peut reconnaître l'antiquité des monumens astronomiques; car si les artistes ont figuré le Ciel tel qu'ils le voyaient, on peut juger, par les changemens survenus depuis, de l'époque à laquelle ces monumens ont été construits. C'est encore ainsi qu'on peut reconnaître si des artistes se sont bornés à copier des représentations du Ciel plus anciennes, car on peut savoir sans peine de quelle manière ils devaient avoir vu le Ciel dans leurs régions.

La Lune agit aussi sur le ménisque de la Terre, et contribue, avec les autres planètes, à la pré-

cession. Mais comme la Lune n'est qu'accidentellement, avec ces différens astres, dans le plan de l'écliptique, elle produit encore une altération dans l'inclinaison de l'équateur, que l'on nomme *nutation lunaire*. L'axe de la Terre qui suit les mouvemens de l'équateur, auquel il est perpendiculaire, se balance et décrit autour du pôle moyen une petite ellipse, pendant les 19 années que dure une révolution des nœuds de la Lune. L'attraction solaire apporte dans ces effets une modification qui a pour période une année, et cette double action a reçu le nom de *nutation lunisolaire*.

Le changement d'*obliquité de l'écliptique* produit par les planètes, a une période beaucoup plus longue que la nutation lunaire. L'obliquité par siècle diminue de 48" environ ; il résulte de là quelques phénomènes qu'il est bon d'indiquer. Tous les lieux situés entre les deux tropiques, ont deux fois par an le Soleil au zénith ; or, si les tropiques viennent à se rapprocher par la diminution de l'obliquité de l'écliptique, certains lieux qui étaient dans leur voisinage et qui pouvaient, dans le cours d'une année, avoir le Soleil au zénith, ne l'auront plus. D'autres lieux, situés en dehors des tropiques, s'ils s'en éloignent de plus en plus, verront les ombres de leurs gnomons s'alonger. C'est ce qui a eu lieu en effet, et l'on rapporte que dans la ville de

Syène, en Egypte, on voyait autrefois, au solstice, l'image du Soleil, au fond d'un puits, où elle n'est plus visible de nos jours. *Syène* se trouvait autrefois sous le tropique dont elle s'est successivement éloignée.

La diminution de l'écliptique ne se fera pas continuellement; le calcul indique une période après laquelle l'inclinaison redeviendra croissante. Il paraît que les oscillations sont renfermées entre des limites de 3° environ. On nomme *obliquité moyenne* celle qui aurait lieu sans la nutation, et *obliquité apparente* celle qui a effectivement lieu. La rétrogradation de l'équinoxe ne paraît pas avoir non plus un mouvement uniforme, mais éprouve de légères variations.

Nous avons vu, dans ce qui précède, que l'équinoxe de printemps arrive plutôt que dans le cas où la précession n'aurait pas lieu; ainsi la Terre, qui vient de passer à son périhélie, arrive plutôt à l'équinoxe, et par là, ces deux points se rapprochent annuellement de 50",1. Mais l'action des planètes et surtout de Vénus et de Jupiter, déplace aussi l'écliptique et tend, de son côté, à rapprocher le périhélie de l'équinoxe de la valeur de 11",8 par an, ce qui constitue le *mouvement sidéral du périhélie*. Ainsi la ligne des absides de l'orbite terrestre a un mouvement direct et annuel, qui lui fait décrire un arc de 61",9. La Terre emploie 25'7",2 pour décrire cet arc; ce temps est

l'excès de l'année *anomalistique*, ou du retour à l'abside, sur l'année tropique ou retour à l'équinoxe.

Jupiter et les autres planètes exercent encore d'autres altérations dans le mouvement de la Terre, soit pour faire varier l'excentricité de l'orbe, soit pour changer la forme de cet orbe ou la vîtesse de l'astre qui le parcourt. Mais ces altérations peuvent assez bien s'expliquer par ce que nous avons dit de la théorie de la Lune et des actions réciproques des satellites. On conçoit aussi, que les planètes n'agissant pas dans un même plan, la Terre pourra quelquefois sortir du plan de l'écliptique; d'où résulte une latitude d'environ une seconde. Ce déplacement a pris le nom de *mouvement en latitude*.

CHAPITRE VI.

Des Marées.

Chaque jour, les eaux de la mer, par un mouvement périodique et régulier, s'élèvent et s'abaissent deux fois entre deux retours consécutifs de la Lune au méridien. On a nommé *flux* ou *flot* le mouvement ascensionnel, et *reflux* ou *jusan* le mouvement contraire qui s'opère environ six heures après. Ces mouvemens ne s'opèrent pas brusquement; on peut se les représenter

assez bien de la manière suivante. Si *a g* diamètre du cercle *ad'g*, représente la différence de la haute à la basse mer (fig. 23), et si après la première heure le niveau des eaux s'est élevé jusqu'en *b''b'*, dans l'heure suivante, il s'élèvera jusqu'en *c''c'*, et l'arc *c'b'* sera égal à l'arc *b'a*. La mer continuera à s'élever, de manière que son niveau, à chaque heure, interceptera toujours des arcs *ab'*, *b'c'*, *c'd'*, etc., égaux entre eux. Ce mouvement périodique de la mer constitue le phénomène des *marées*, et l'on appelle *marée totale* la demi-somme de deux pleines mers consécutives, prise du point où elle est descendue entre les deux marées. Les eaux, à Brest, emploient un temps un peu plus long pour descendre que pour monter. Les marées ne sont pas chaque jour également grandes ; mais elles dépendent des positions respectives du Soleil et de la Lune.

Nous avons déjà vu que si la mer s'élevait partout à la même hauteur au-dessus des terres, et que si elle n'obéissait qu'à la pesanteur, elle finirait par prendre une forme sphérique. Mais en vertu de la rotation diurne, elle s'élèverait encore vers l'équateur, et elle prendrait à la longue une forme constante qui serait celle d'un ellipsoïde aplati. Cette forme demeurerait invariablement la même ; mais il n'en est point ainsi dans la nature, car, à chaque instant, les actions combinées du Soleil et de la Lune conspirent pour

l'altérer. Afin de nous former une idée exacte de ces altérations, supposons le Soleil placé dans le plan de l'équateur et exerçant son action sur les eaux de la mer. Cet astre attirera plus fortement les particules fluides situées de son côté, que le centre de la Terre dont il est plus éloigné : ces particules, en raison de leur mobilité, se soulèveront ainsi sous l'astre qui les attire et s'éloigneront du centre de la Terre. D'une autre part, le Soleil agira plus puissamment sur le centre de la Terre, que sur les particules fluides diamétralement opposées à cet astre ; conséquement, les particules aussi s'éloigneront du centre de la Terre et paraîtront s'être soulevées comme les premières. On peut donc déjà conclure de là, que la mer se renflerait toujours des deux côtés opposés de la Terre et dans la direction de la droite qui joint les deux astres ; à 90° des deux points de plus grande élévation, se trouveraient les deux points de plus grand abaissement. Ainsi, en récapitulant ce qui précède, dans l'hypothèse d'une masse d'eau parfaitement mobile, une particule lors du passage supérieur du Soleil, se soulèverait vers cet astre, parce qu'elle se trouverait plus attirée que le centre de la Terre : lors du passage inférieur du Soleil, ce serait le centre de la Terre qui serait plus attiré et la particule s'écartant de ce centre par un autre motif, paraîtrait s'être soulevée encore. On conçoit, du reste, que le

renflement de la mer dans deux points diamétralement opposés ne peut se produire que par l'abaissement des eaux dans les points intermédiaires. Or, l'observation nous apprend que ces élévations et abaissemens successifs ont lieu exactement comme la théorie nous l'indique; elle nous apprend encore que la Lune exerce une action sur les marées trois fois plus forte que celle du Soleil. Cet excès ne doit pas étonner, si l'on considère que le phénomène des marées n'a lieu qu'en vertu de l'inégalité des distances relatives des différens points du globe aux astres qui les influencent. La Lune n'est distante de nous que d'environ 60 rayons de la Terre, on doit donc apercevoir alors très-facilement une inégalité d'actions sur des points qui en sont plus rapprochés ou plus éloignés d'un rayon. Pour le Soleil, quoique sa masse soit incomparablement plus forte que celle de la Lune, l'inégalité d'action est moins sensible, car le Soleil, placé à 24096 rayons de nous, doit agir à-peu-près de la même manière sur des points plus éloignés d'un ou de deux rayons.

Il existe donc deux espèces de marées, l'une produite par le Soleil et l'autre par la Lune; mais elles se combinent de telle manière que l'on n'en observe qu'une seule qui est le résultat des actions des deux astres. Les marées les plus fortes ont lieu vers les syzygies, c'est-à-dire,

aux nouvelles et pleines Lunes, lorsque les deux actions conspirent pour soulever les eaux; c'est alors que la mer s'élève et s'abaisse le plus. Lors des quadratures, au contraire, les actions sollicitantes produisent des marées qui s'entredétruisent en partie, et l'action prédominante de la Lune ne produit plus qu'une marée très-faible.

On conçoit déjà à combien d'inégalités les marées doivent être assujetties, puisque leur intensité dépend de la distance plus ou moins grande du Soleil et de la Lune, des positions relatives de ces astres, de leur éloignement de l'équateur, etc. Cependant, nous n'avons pas encore considéré l'influence des vents, la disposition irrégulière des continens et des îles qui entrecoupent partout la surface des mers, et doivent faire varier considérablement le mouvement des eaux.

La disposition la plus favorable pour augmenter les marées serait celle où le Soleil et la Lune, dans leur plus courte distance à la Terre, arriveraient ensemble à la syzygie et se trouveraient dans le plan de l'équateur. Si les eaux étaient encore favorisées par la direction des vents, il pourrait en résulter des inondations et des malheurs affreux. Qu'on ajoute à cela le spectacle d'une éclipse totale de Soleil ou de Lune, qui serait la suite nécessaire de la position de ces astres, et l'on pourra se faire une idée de l'in-

fluence que ces phénomènes exerceraient sur les esprits. Heureusement quelques-unes de ces conditions seulement peuvent se réaliser pour nous. Ainsi, vers l'équinoxe, le Soleil et la Lune peuvent se trouver en conjonction ou en opposition dans le plan de l'équateur, et la Lune peut être de plus à sa plus courte distance de la Terre. C'est ce qui s'est réalisé en partie en 1825. Aussi les eaux, favorisées par les vents, ont produit de terribles catastrophes à Saint-Pétersbourg, en Hollande, dans une partie de la Flandre, et dans d'autres régions encore.

Les marées sont généralement moins fortes aux solstices, et surtout au solstice d'été, parce qu'alors le Soleil est le plus éloigné du plan de l'équateur. La diminution des marées devient surtout très-sensible par la diminution du diamètre apparent de la Lune. On a trouvé, qu'en général, chaque marée partielle, c'est-à-dire, celle produite par le Soleil ou par la Lune, augmente comme le cube du diamètre apparent de l'astre qui la cause, et qu'elle diminue comme le carré du cosinus de la déclinaison de cet astre. « La comparaison des observations, dit M. de Laplace, m'a fait voir qu'à cent secondes de variation dans le demi-diamètre de la Lune, répond un demi-mètre de variation dans la marée totale, quand la Lune est dans l'équateur; et ce résultat de l'observation est tellement con-

forme à celui de la théorie, que l'on aurait pu déterminer, par ce moyen, la loi de l'action de la Lune sur la mer, relative à sa distance. »

L'espace de temps qui s'écoule entre deux hautes mers successives, n'est pas constamment égal à lui-même ; mais il offre de petites inégalités semblables à celles de la Lune. Sa valeur moyenne est de $12^h,42$. Le temps qui s'écoule entre deux marées consécutives, surpasse donc le jour solaire d'une heure environ. Il faut bien faire attention aussi que la haute mer n'est que le résultat des actions combinées du Soleil et de Lune, et qu'elle aura des avances et des retards, selon la position de ces astres. Il est remarquable, au reste, que l'instant du phénomène, sur nos côtes, soit toujours retardé d'un jour et demi, c'est-à-dire, que la marée, telle que le calcul l'indique, n'arrive que 36 heures après.

La hauteur des marées dépend en grande partie de la disposition des mers où on l'observe ; parce que l'effet de l'action des astres sur un espace couvert d'eau est d'autant plus énergique que les particules fluides sont plus nombreuses et répandues sur une plus grande étendue. Aussi le flux et le reflux, qui sont très-sensibles dans le grand Océan, ne sont presque pas appréciables dans la mer Caspienne, dans la Mer-Noire, ou même dans la Méditerranée.

L'inégalité de pente ou de direction des côtes

a encore une grande influence pour retarder l'heure de la marée ; aussi l'on remarque que le flux, qui pénètre par les fleuves jusque dans l'intérieur des terres, emploie quelquefois un temps considérable pour parcourir un médiocre espace. Le retard que la marée éprouve dans chaque lieu sur le passage de la Lune au méridien, est une quantité constante ; c'est ce qu'on nomme l'*établissement du port.* Il est de 11 heures 45' pour les villes de Dunkerque et de Calais, tandis qu'il est de 20' pour Ostende. Il faut entendre par-là qu'il est 11^h 45' dans les deux premières villes, lorsque la mer est haute à l'instant de la nouvelle ou de la pleine Lune, et qu'il n'est que 20' pour Ostende. M. de Laplace considère chaque port comme placé dans un canal, à l'embouchure duquel les marées partielles arrivent au moment même du passage des astres au méridien. Il suppose encore que ces marées, sur les côtes de France, emploient 36 heures à venir de l'embouchure jusqu'au port, et il indique ensuite les corrections à faire selon les localités.

En voyant les effets que le Soleil et la Lune exercent sur les eaux de la mer, on est naturellement porté à leur supposer une influence plus grande encore sur notre atmosphère, qui jouit d'une mobilité extrême. Cependant on a reconnu, par l'observation, combien cette opinion était peu fondée. Trois causes principales influent sur

le flux atmosphérique : 1° l'action du Soleil et de la Lune ; 2° l'élévation et l'abaissement périodiques de l'Océan, base mobile de l'atmosphère ; 3° l'attraction de ce fluide par la mer, dont la figure varie périodiquement. D'après quatre mille sept cent cinquante-deux observations faites pendant huit ans, et relevées par M. Bouvard, M. de Laplace n'a trouvé qu'un dix-huitième de millimètre pour la grandeur du flux lunaire atmosphérique, ce qui est une valeur presque insensible.

Les anciens avaient déjà quelque connaissance de la vraie cause des marées, quoiqu'ils ne pussent observer ces phénomènes que dans des mers où ils sont moins sensibles. Aristote, dans son livre du *Monde*, dit que les marées suivent le mouvement de la Lune ; Pline, dans son *Histoire de la nature*, s'exprime encore plus clairement à cet égard ; mais alors, il est vrai, le phénomène avait déjà été mieux observé sur les côtes de l'Océan. « La cause des marées provient du Soleil et de la Lune, dit ce naturaliste ; les eaux se meuvent en obéissant à l'influence sidérale, qui attire et soulève les mers (1.) » La théorie mathématique des marées a été traitée avec soin par Newton, Maclaurin, Daniel Bernouilli, Eu-

(1) *Causa in sole lunaque ; moventur aquæ ut ancillantes sideri avido, trahentique secum haustu maria.*

ler; mais aucun géomètre n'a répandu plus de lumières sur cette partie de la science que le célèbre de Laplace. La théorie des marées, en effet, a été portée à un tel degré de perfection que l'on peut maintenant, plusieurs années d'avance, prédire l'instant du retour d'une marée pour un port quelconque, et assigner même la hauteur à laquelle doivent s'élever les eaux, à moins que des vents violens, ou d'autres circonstances extraordinaires, ne viennent déranger la marche de la nature. On a lieu de s'étonner alors qu'un écrivain tel que Bernardin de Saint-Pierre, si justement estimé d'ailleurs pour le charme de ses ouvrages, ait cherché à expliquer les marées par la fonte des neiges, et à établir une théorie si peu d'accord avec l'observation.

CONCLUSION.

Si nous jetons maintenant un coup-d'œil rapide sur notre système planétaire, nous verrons le Soleil se mouvoir continuellement autour de son axe, et se diriger dans l'espace selon une ligne, dont les élémens nous sont encore inconnus. Autour de cet astre, le plus considérable et le plus influent de notre système, circulent dans des ellipses, onze planètes principales, qui se dirigent toutes dans l'ordre des signes du Zodiaque, qui ont toutes un mouvement de rotation sur

elles-mêmes, dirigé dans le même sens ; autour de plusieurs de ces planètes circulent à leur tour dix-huit satellites qui parcourent aussi des ellipses dans l'ordre des signes, mais qui semblent assujettis à la condition de présenter toujours la même face vers leur astre central. De temps en temps, quelques comètes qui paraissent étrangères à notre système, et qui se meuvent dans tous les sens et dans toutes les directions, viennent se jeter au milieu de tous ces astres, mais toujours en suivant des trajectoires, dont l'observation et le calcul démêlent bientôt toutes les circonstances. Quelques-uns même de ces corps, moins étrangers à notre système, circulent autour du Soleil comme de véritables planètes dont il ne se distinguent que par une excentricité plus grande dans leur orbite elliptique.

Pendant que tous ces corps se meuvent avec la plus parfaite harmonie, et en suivant des lois immuables dont plusieurs ont été reconues par l'observation et l'analyse, il s'établit entre eux des actions et des réactions infinies, que l'on a pu apprécier également par des approximations bien suffisantes. C'est ainsi que l'on a reconnu de petites altérations dans les excentricités et les inclinaisons des orbites, des déplacemens dans les lignes des apsides et des nœuds : on a pu remonter encore à la cause de l'aplatissement que présentent les planètes dans le sens de leur axe

de rotation ; on a pu même estimer leur pesanteur comme si on les avait placées dans des balances ; et l'on a assigné quelle était la pesanteur à leur surface et quel serait le temps qu'emploierait un corps pour y tomber d'une certaine hauteur. L'astronomie a pu expliquer avec le même bonheur, des phénomènes qui se renouvellent journellement sur notre globe ; ainsi l'on n'ignore plus la vraie cause des marées, les effets de la réfraction astronomique, de l'aberration des étoiles, et une foule d'autres phénomènes moins sensibles encore, et qui semblaient devoir échapper pour toujours à l'attention la plus minutieuse.

La découverte de petits mouvemens que l'on a reconnus à plusieurs étoiles, et que les astronomes modernes observeront avec une si louable émulation, nous mettra sans doute sur la voie pour reconnaître de nouvelles merveilles que nous ignorons encore. Peu à peu nous acquerrons peut-être aussi des données sur l'éloignement des étoiles les plus voisines de nous ; éloignement tel que l'on doit considérer comme nul à côté de lui, le diamètre de l'écliptique qui est cependant de 69 millions de lieues. Aussi, ce sont moins les instrumens qui nous manquent pour observer les distances, qu'une base suffisamment étendue. L'on a pu calculer la vîtesse de la lumière, qui parcourt 70,000 lieues par seconde,

et l'on n'a pu apprécier encore la distance des étoiles les plus brillantes qui, aux yeux du vulgaire, semblent être néanmoins médiocrement éloignées. La véritable observation ne fait que de naître ; c'est elle seule qui, par les documens utiles qu'elle amasse, pourra révéler par la suite des temps, des secrets que nous n'avons pu connaître encore, et qui doivent être les fruits de plusieurs siècles de recherches assidues.

FIN.

TABLE

DES MATIÈRES.

LIVRE PREMIER.

DU CIEL ÉTOILÉ.

FIN DE LA TABLE.

ERRATA.

Page 4, ligne 19 : toutes les cercles, *lisez* : tous les cercles.

Page 8, ligne 6 : *f, f' lisez : j. j'*.

Page 97, ligne 19, *effacez le signe — devant les mots :* de distance.

Page 114, lignes 17, 18 et suivantes : *ff', lisez : jj'*.

Page 128, *au lieu de* ☊☋ *mettez* ☋☊.

Page 129, ligne 16, *au lieu de* ☋☊ *mettez* ☋.

Planche 1re, figure 5, *au lieu de e' lisez e, au lieu de e lisez e'*.

Id. figure 11, la ligne *s* 12', 12 doit être prolongée en 12''.

Planche 2, figure 15, sur la ligne *s*T, formant la base du triangle, *lisez :* ST.

Id. figure 16, ligne courbe B A*p*, *lisez :* B A P.

Id. figure 17, au bout de la ligne partant du point *s* *lisez :* T, et *supprimez* le T placé au bout de la ligne courbe TT.

Fig. 1re

Equateur

Axe

Verticale

Horizon.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.

Fig. 5.

Fig. 6.

Fig. 7.

Fig. 8.

Fig. 9.

Fig. 10.

Fig. 11.

Gravé par Adam.

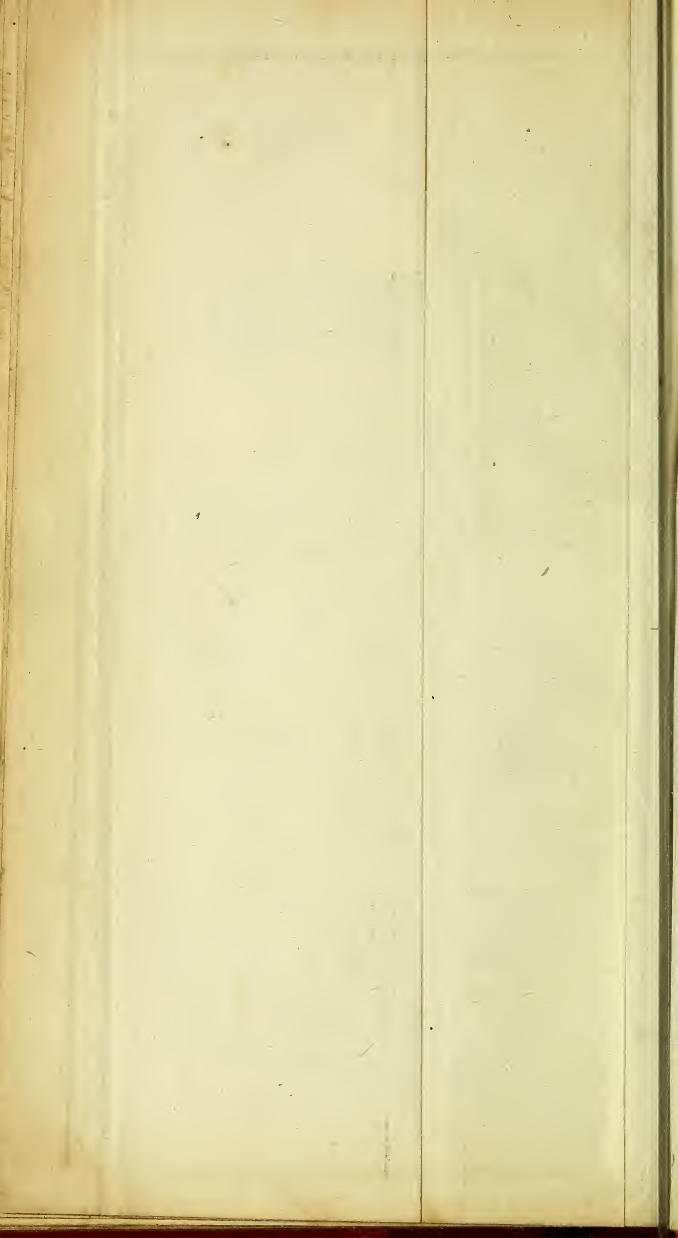


Fig. 12.

Fig. 13.

Fig. 14.

Fig. 15.

Fig. 16.

Fig. 17.

Fig. 18.

Fig. 19.

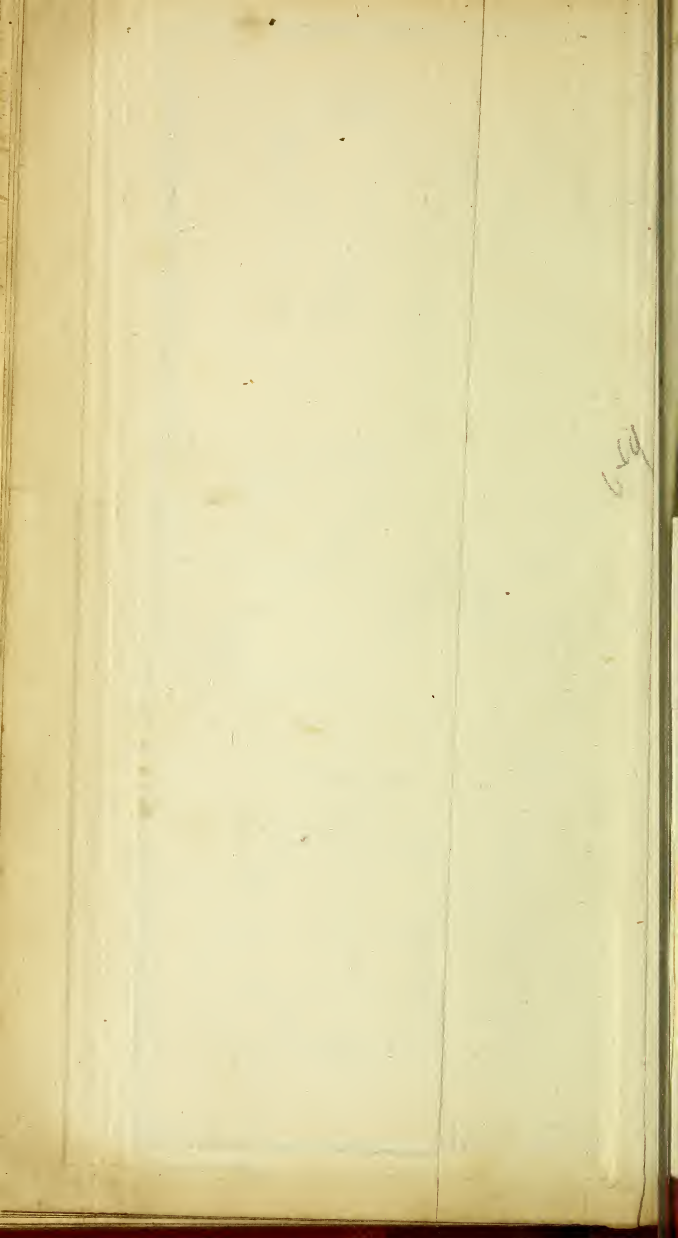
Fig. 20.

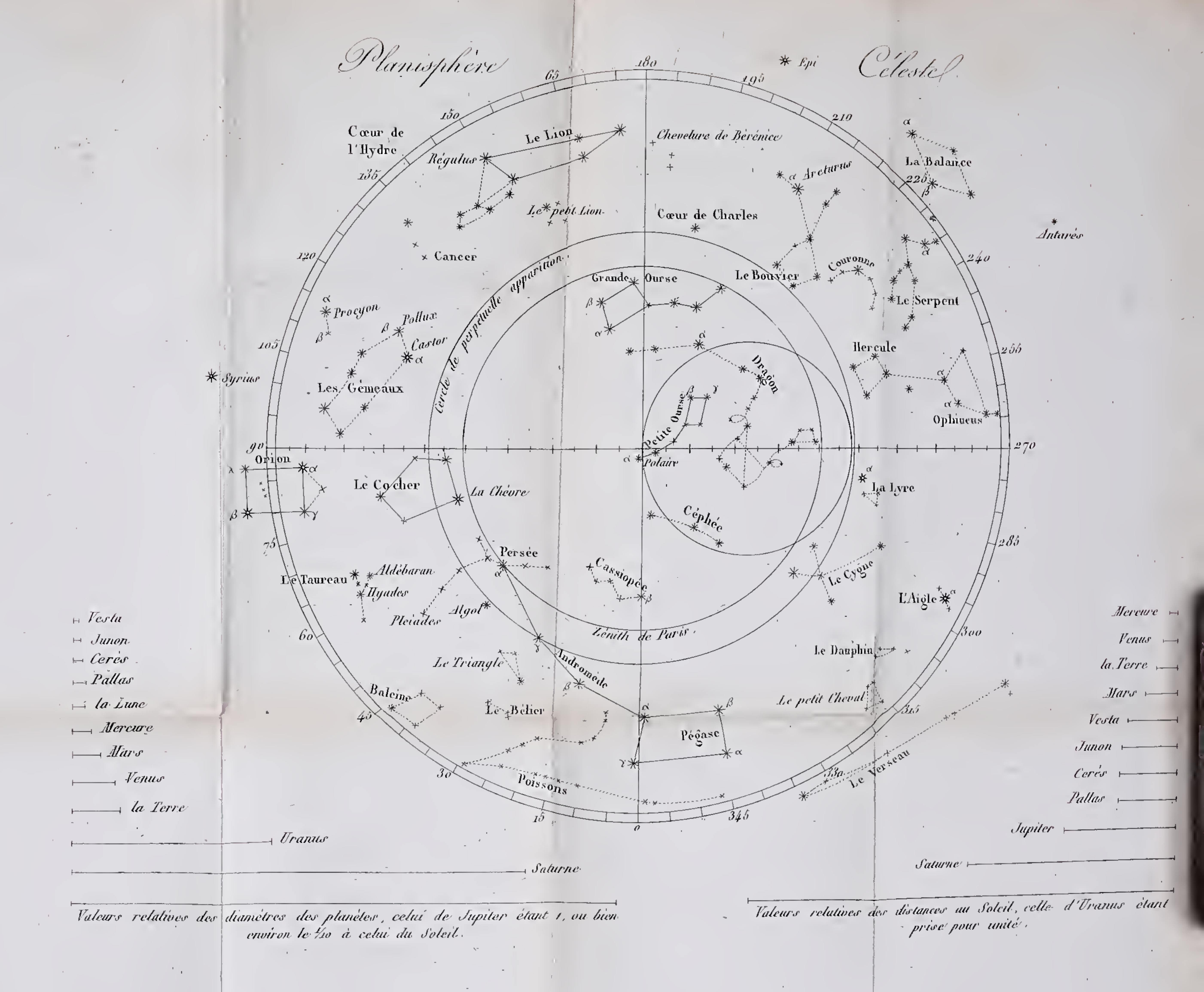
Fig. 21.

Fig. 22.

Fig. 23.

Gravé par Adam.





Valeurs relatives des diamètres des planètes, celui de Jupiter étant 1, ou bien environ le 1/10 à celui du Soleil.

Valeurs relatives des distances au Soleil, celle d'Uranus étant prise pour unité.

